

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Desenvolvimento de um WebSIG do Tsunami de 1755 na zona ribeirinha
de Lisboa**

Mariana Cristina Ferreira Dias Correia

Dissertação orientada pela Doutora Ângela Cristina Carvalho Silva Santos e
pelo Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2019

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Desenvolvimento de um WebSIG do Tsunami de 1755 na zona ribeirinha
de Lisboa**

Mariana Cristina Ferreira Dias Correia

Dissertação orientada pela Doutora Ângela Cristina Carvalho Silva Santos e
pelo Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa do Instituto de
Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professora Doutora Cristina Delgado Henriques da Faculdade de
Arquitetura da Universidade de Lisboa
- Professora Doutora Ângela Cristina Carvalho Silva Santos do Instituto de
Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2019

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à Doutora Ângela Santos por ter aceitado ser minha orientadora da presente dissertação, pelo tempo que dispensou a apoiar e a ajudar a melhorar este trabalho, pela oportunidade que me deu de participar na II Conferência Internacional Riscos, Segurança e Cidadania e pelos conhecimentos que me passou durante todo este período. Gostaria também de lhe agradecer, bem como ao Professor Doutor Nuno Marques da Costa pela oportunidade que me ofereceram de abraçar o projeto que deu origem a esta dissertação e a um artigo científico recentemente publicado. Gostaria de acrescentar um obrigada ao Professor por todas as sugestões e por todo o acompanhamento que me foi dando também ao longo do meu percurso no Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT). Gostaria também de agradecer ao Professor Doutor Gonçalo Vieira pela disponibilidade que demonstrou e pelo acesso que me forneceu ao Software Pix4D e ao GEOMODLAB do IGOT. Um agradecimento especial ao Doutor Rui Santos, Senior Account Manager da ESRI Portugal e investigador do Centro de Estudos Geográficos, por todo o seu apoio para a criação do WebSIG.

Quero também agradecer à restante equipa envolvida no projeto associada ao Museu de Lisboa (Palácio Pimenta), em especial a Carlos Loureiro, por todas as indicações que me forneceram relativas à cidade de Lisboa do séc. XVIII e pela cartografia e iconografia histórica que dispensaram. Agradeço ainda ao Museu de Lisboa a autorização para publicar imagens digitais dos documentos históricos apresentados nas Figuras 16 e 28 meramente como ilustrações. Os direitos de autor destes documentos são da exclusividade do Museu de Lisboa. Agradeço ainda a permissão para tirar as fotografias da maquete de Lisboa pré-desastre.

Um agradecimento também ao Instituto Geográfico do Exército pelo fornecimento de dados topográficos e outra informação relevante para o desenvolvimento deste trabalho e à Marinha Portuguesa pelo fornecimento de cartografia histórica. Foi igualmente importante o esforço da Dr.ª Sandra Fernandes que muito procurou por cartografia histórica da região de Lisboa, bem como fontes relacionadas, ajuda esta da qual agradeço.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio que me deram até ao fim nesta jornada e pela paciência que sempre tiveram quando encontrava dificuldades. Um agradecimento especial ao Tiago Silva que me foi mantendo focada no meu objetivo e que cuja paciência e suporte foram fundamentais para a realização

deste trabalho. Gostaria também de dar um grande obrigada aos meus amigos, Andreia Pinheiro, João Duque e Letícia Moura por terem sido sempre amáveis comigo e compreensivos, mesmo que muitas vezes tenha cancelado planos com eles quando os mesmos cruzavam com algumas fases deste trabalho. Obrigada a todos pelo apoio, espero que tenham orgulho no que realizei e que continuem comigo nas fases que se seguem!

Devido ao projeto em que estive inserido, este trabalho foi financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia), UID/GEO/00295/2019.

Resumo

São muitas as descrições históricas relativas ao evento de 1 de novembro de 1755 em Lisboa. Porém, alguns aspetos permanecem desconhecidos, nomeadamente o impacto do sismo, do incêndio, e do tsunami, isoladamente, na cidade e no seu edificado. Neste sentido, esta dissertação procura reanalisar os relatos históricos respeitantes a este evento histórico na zona ribeirinha de Lisboa e, consequentemente, realizar uma análise mais detalhada do impacto de cada um dos três fenómenos nas freguesias históricas aí inseridas. Além disso, são também compilados cartografia histórica, iconografias e dados arqueológicos históricos. É elaborado também um modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade através do software Pix4D que ajudou na construção do modelo digital do terreno da área de estudo, essencial para o modelo numérico do tsunami de 1755.

O processamento da cartografia histórica permitiu concluir que a linha de costa avançou sobre o rio desde o momento de ocorrência do evento até à atualidade, percorrendo uma distância de até 300 m. A altimetria local não apresentou alterações significativas. Foram identificados 32 edifícios, dos quais 17 igrejas. Contrariando o conhecimento geral, o sismo não provocou danos significativos. Por sua vez, o incêndio destruiu praticamente todo o edificado da área de estudo. O tsunami não terá causado danos significativos no edificado, no entanto provocou mais de 900 mortos no Terreiro do Paço. O desastre terá provocado mais de 1 000 vítimas.

Os resultados do modelo numérico do tsunami, desenvolvido a partir do Modelo Digital do Terreno elaborado, mostram que o tsunami terá atingido Lisboa 60 minutos após o sismo. Este terá afetado sobretudo a zona oeste, onde a altura da inundação foi superior (cerca de 4 m). Na zona central da área de estudo, correspondente ao Terreiro do Paço, este terá penetrado em mais de 300 metros. O tsunami não terá penetrado a este da área de estudo.

Os resultados obtidos são apresentados num WebSIG interativo criado para o efeito, disponibilizado para os visitantes do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). No museu, ou *online* em diferentes dispositivos, o utilizador poderá interagir com esta informação através de um diversificado leque de funcionalidades. Esta aplicação potencializa o entendimento e a identificação das áreas mais propícia a serem afetadas por eventos semelhantes no futuro.

Palavras-chave: tsunami de 1755; dados históricos; Lisboa; ArcGIS Online; WebSIG.

Abstract

There are many historical descriptions concerning the event of November 1, 1755 in Lisbon. However, some aspects remain unknown, namely the impact of the earthquake, fire, and tsunami on the city and its building. In this sense, this dissertation seeks to reanalyze the historical reports concerning this historical event in the Lisbon waterfront, and consequently carry out a more detailed analysis of the impact of each of the three phenomena on the historical parishes there inserted. In addition, historical cartography, iconography and archaeological data are also compiled. A three-dimensional model of the city's waterfront is also developed using Pix4D software that assisted in the construction of the digital terrain model of the study area, essential for the 1755 tsunami numerical model.

The processing of the historical cartography allows us to conclude that the coastline has advanced over the river from the event until today, to a distance of 300 m. Local altimetry hasn't showed significant changes. We have identified 32 buildings, including 17 churches. Contrary to general knowledge, the earthquake did not cause significant damage. In turn, the fire destroyed practically the entire building of the study area. The tsunami would not have caused significant damage to the building, but it led to more than 900 deaths in Terreiro do Paço. The disaster would have provoked more than 1,000 victims.

The results of the numerical tsunami model, based on the elaborated Digital Terrain Model, have showed that the tsunami reached Lisbon 60 minutes after the earthquake. This will have mainly affected the west zone, where the height of the flood was higher (about 4 m). In the central area of the study area, Terreiro do Paço, it will have penetrated over 300 meters. The tsunami will not have penetrated east of the study area.

The results are presented in an interactive WebSIG created for this purpose, available to Lisbon Museum (Palácio Pimenta)'s visitors. In the museum, or online on different devices, the user can interact with this information through a diverse range of features. This application enhances the understanding and identification of the areas most likely to be affected by similar events in the future.

Keywords: 1755 tsunami; historical data; Lisbon; ArcGIS Online; WebSIG.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice.....	vii
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e pertinência	1
1.2. Objetivos	8
1.3. Organização e estrutura do documento	8
2. Revisão da literatura.....	11
2.1. Relatos históricos em Lisboa.....	11
2.2. Cartografia histórica em Portugal	12
2.3. Cartografia histórica em ambiente SIG	14
2.4. Tsunami.....	18
2.5. WebSIG: Definição e arquitetura	19
2.5.1. WebSIG para cartografia histórica em Lisboa	23
3. Metodologia	25
3.1. Relatos históricos na zona de estudo.....	25
3.2. Cartografia e iconografia histórica e dados arqueológicos.....	25
3.3. Trabalho de campo	29
3.4. Modelação tridimensional do Terreiro do Paço	29
3.5. Construção do Modelo Digital de Terreno da zona de estudo	35
3.5.1. Georreferenciação	35
3.5.2. Vetorização.....	38
3.6. Construção do WebSIG.....	39

4.	Resultados e discussão	47
4.1.	Diferenças entre a linha de costa histórica e a atual	47
4.2.	Freguesias históricas da área de estudo.....	48
4.3.	Impacte do sismo, incêndio e tsunami.....	49
4.4.	Modelo tridimensional da área de estudo antes do sismo	75
4.5.	Modelo numérico do tsunami de 1755 na zona ribeirinha de Lisboa.....	80
4.6.	Apresentação e análise do WebSIG	88
4.6.1.	Separador “Edifícios anteriores ao tsunami (3D)”	89
4.6.2.	Separador “Planta da cidade e área inundada”	92
4.6.3.	Separadores referentes ao impacto do sismo, incêndio e tsunami.....	107
5.	Conclusões	113
6.	Referências bibliográficas	119

Índice de figuras

Figura 1: Regiões afetadas pelo sismo e tsunami: (A) no Atlântico Norte com base em Gutscher <i>et al.</i> (2006); (B) em Portugal continental (Santos & Koshimura, 2015); (C) área de estudo. Os locais estão numerados, com os parâmetros listados nas Tabelas 1 e 2.	1
Figura 2: Resultados da modelação numérica de tsunami de 1755 à escala regional: <i>snapshots</i> da altura da água para 20 e 30 minutos após o sismo (animação do modelo com base em Santos <i>et al.</i> (2009), no âmbito do Projeto Tsurima (2012-2015), disponível em https://sites.google.com/a/campus.ul.pt/tsurima/publications).	7
Figura 3: Organização e estrutura da dissertação.	10
Figura 4: Limites das freguesias com a classificação dos danos (Sousa, 1928): (A) em 2009; (B) em 2018, e até à data da presente dissertação.	11
Figura 5: Esquema representativo da chegada do tsunami à linha de costa e ilustração de conceitos associados, com base em IOC (2019).	19
Figura 6: Arquitetura típica de um WebSIG, tendo por base Alesheikh <i>et al.</i> (2002).	22
Figura 7: Diferentes perspetivas do Terreiro do Paço obtidas do levantamento fotográfico da maquete de Lisboa antes do sismo do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta): perspetiva sul (A), norte (B), este (C) e oeste (D). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.	31
Figura 8: Módulos que constituem a maquete do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.	32
Figura 9: Levantamento fotográfico de alguns dos edifícios / estruturas objeto de estudo presentes na maquete de Lisboa antes do sismo, do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta): Forte de S. Paulo (#L); Forte da Vedoria (#B); Alfândega do Tabaco (#C); Igreja de S. Paulo (#1); Igreja de Sto. António da Sé (#8); Basílica de Sta. Maria Maior ou Igreja da Sé (#9); Igreja da Madalena (#5); Igreja Patriarcal (#2); Terreiro do Trigo (#E); Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D); Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia (#7); Casa da Ópera (#N); Ribeira das Naus (#P2); Palácio do Conde de Aveiro (#G); Palácio do Marquês de Távora (#H); Palácio do Conde de Coculim (#I); Igreja de S. João da Praça (#15); Palácio dos Corte Real (#M); Igreja do Convento dos Dominicanos Irlandeses (#12); Ermida de N. S. ^a da Graça (#13); Igreja das Chagas (#11); Palácio do Marquês de Angeja (#K); Palácio do Conde de Vila-Flor (#J); Igreja de S. Miguel (#10). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.	33
Figura 10: Modelo Digital do Terreno histórico da região de Lisboa: batimetria e linha de costa vetorizada a partir de cartografia histórica (Marinha Portuguesa, 1879, 1893). Altimetria com base no Atlas do Ambiente da Comissão Nacional do Ambiente (1982).	39

Figura 11: Duas arquiteturas distintas para aplicações WebSIG: exemplo de arquitetura totalmente <i>free and open source</i> (à esquerda) e arquitetura aplicada utilizando <i>proprietary software</i> (da ESRI) (à direita).	41
Figura 12: Arquitetura da interface do WebSIG.....	43
Figura 13: Resquícios atuais de um antigo cais de construção de naus (#P2). Fotografia obtida em campo a 9 de maio de 2019.....	47
Figura 14: Limites das freguesias da área de estudo no séc. XVIII. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.	48
Figura 15: Igrejas e outros edifícios identificados. A ordenação encontra-se nas Tabelas 6 e 7. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente. As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente.....	50
Figura 16: Reprodução da "Planta topográfica da cidade de Lisboa arruinada": representação da planta da cidade anterior ao sismo sobreposta pelo projeto selecionado para a reconstrução da cidade da autoria de Eugénio dos Santos Carvalho e Carlos Mardel.	51
Figura 17: Local do antigo Palácio dos Condes de Coculim (#I), onde ainda hoje persiste o brasão dos Mascarenhas que o identifica (assinalado pelas setas). Fotografias tiradas a 12 de maio de 2019.....	52
Figura 18: Total de igrejas ou outros edifícios afetados por classificação dos danos e fenómeno causante.	63
Figura 19: Total de freguesias afetadas por classificação dos danos e fenómeno causante.....	64
Figura 20: Classificação dos danos provocados pelo sismo em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.....	65
Figura 21: Impacto do sismo em 5 tipos de estrutura: igrejas, ermidas, palácios, edifícios do reino (Paço Real da Ribeira (#A), Alfândega do Tabaco (#C), Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), Terreiro do Trigo (#E), Casa da Ópera (#N) e Casa da Moeda (#O)) e fortes. Peso de cada classe de dano por tipo de estrutura.....	67
Figura 22: Classificação dos danos provocados pelo incêndio em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da	

área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.....	68
Figura 23: Impacto do incêndio em 5 tipos de estrutura: igrejas, ermidas, palácios, edifícios do reino (Paço Real da Ribeira (#A), Alfândega do Tabaco (#C), Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), Terreiro do Trigo (#E), Casa da Ópera (#N) e Casa da Moeda (#O)) e fortes. Peso de cada classe de dano por tipo de estrutura.....	69
Figura 24: Classificação dos danos provocados pelo tsunami em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.....	70
Figura 25: Locais visitados no campo para os quais foram recolhidas as coordenadas (latitude e longitude) e a altitude com GPS, assim como fotografias.	71
Figura 26: Casa dos bicos (#F) na atualidade com os dois pisos superiores reconstruídos. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019.....	73
Figura 27: Porta “manuelina” da Ermida de N. S. ^a dos Remédios (#17) na atualidade. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019.	74
Figura 28: Iconografias do impacto do evento de 1755 em diversos edifícios: (A) Pintura da Casa da Ópera (#N) (Le Bas & Pedegache, 1757b); (B) Pintura da Igreja de S. Paulo (#1) (Le Bas & Pedegache, 1757c); (C) Pintura da Sé (#9) (Le Bas & Pedegache, 1757a); e (D) Cópia do desenho da parte mais nobre do Palácio Real (#A) (da Cunha, 1922).....	75
Figura 29: Modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento realizado em ambiente Pix4D. Numeração e letras de acordo com as Tabelas 12 e 13, Cap. 4.1. As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente.	76
Figura 30: Modelo tridimensional de Lisboa pré-terramoto com o Pix4D: Fraca qualidade da malha tridimensional no extremo este da área de estudo, devido à baixa densidade da nuvem de pontos na área (em resultado da escassez de fotografias).....	77
Figura 31: Exemplos de imperfeições na malha tridimensional: (A) incorreções nos limites dos objetos; (B) malha com elevadas imperfeições visto de norte do território representado na maquete porque as fotografias foram recolhidos a maior distância dos objetos, as sombras eram superiores e os edifícios estavam muito juntos entre si; (C) ausência de fotografias que mostrem os claustros de cima provoca imperfeições na malha nessas áreas; e (D) incorreções nos limites dos edifícios.	78

Figura 32: Vista aérea do modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento realizado em ambiente Pix4D (em cima). Cruzamento de diferentes configurações da planta da cidade anterior ao evento (em baixo): modelo tridimensional em Pix4D versus planta com base em Ribeiro (1949). Os limites das freguesias têm por base Monteiro de Carvalho (n.d.).	79
Figura 33: (A) Chegada da primeira onda (60 minutos após a ocorrência do sismo) e (B) área inundada pelo tsunami 5 minutos após a chegada da primeira onda, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.	81
Figura 34: Área inundada pelo tsunami (160 minutos após a ocorrência do sismo). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.	84
Figura 35: Profundidade da inundação do tsunami, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.	85
Figura 36: Nível máximo da água provocado pelo tsunami, adaptado de Santos <i>et al.</i> (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.	86
Figura 37: Novo edifício do Terreiro do Trigo (#E) e respetiva fachada para a Av. Infante Dom Henrique, onde é possível verificar o reforço da estrutura no lado do rio. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019. ..	88
Figura 38: Primeiro separador do WebSIG: representação tridimensional dos edifícios anteriores ao evento localizados na área de estudo.	90
Figura 39: Função de alteração de iluminação: (A) 9 horas, (B) 14 horas, (C) 20 horas e (D) meia noite (0 horas).	91
Figura 40: Função de medição de (A) áreas e (B) distâncias.	92
Figura 41: Segundo separador do WebSIG: representação bidimensional dos resultados obtidos no âmbito da dissertação.	93
Figura 42: Camada “Igrejas e ermidas” do segundo separador do WebSIG.	94
Figura 43: Camada “Outros edifícios” do segundo separador do WebSIG.	94
Figura 44: Camada “Planta anterior ao evento” do segundo separador do WebSIG.	95

Figura 45: Camada “Limite das freguesias (séc. XVIII)” do segundo separador do WebSIG.	96
Figura 46: Camada “Linha de costa (séc. XVIII)” do segundo separador do WebSIG.	96
Figura 47: Camada “Área inundada (100 minutos após a chegada da 1ª onda)” do segundo separador do WebSIG.	97
Figura 48: Camada “Nível máximo da água” do segundo separador do WebSIG.	98
Figura 49: Camada “Profundidade da inundação” do segundo separador do WebSIG.	98
Figura 50: Camada “Chegada da 1ª onda (60 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.	99
Figura 51: Camada “5 minutos após a chegada da 1ª onda (65 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.	99
Figura 52: Camada “Chegada da 3ª onda (130 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.	100
Figura 53: Camada “Mosaico (vista aérea) – Modelo 3D Pix4D” do segundo separador do WebSIG.	101
Figura 54: Janelas “pop-up” com atributos de objetos: (A) aquando da seleção de um dos edifícios identificados neste trabalho e (B) aquando da seleção de uma freguesia histórica.	102
Figura 55: Função de cálculo de direções, disponível no segundo separador do WebSIG.	103
Figura 56: Função de deslocamento do mosaico (vista aérea) do modelo tridimensional da área de estudo sobre restantes camadas e listagem das camadas ativas, disponível no segundo separador do WebSIG.	103
Figura 57: Função de localização do território visível no WebSIG e visualizador das tabelas de atributos, disponível no segundo separador do WebSIG.	104
Figura 58: Função de aplicação de filtros, disponível no segundo separador do WebSIG.	105
Figura 59: Função de consulta espacial de entidades e atributos, disponível no segundo separador do WebSIG.	106
Figura 60: Função de apresentação de gráficos, disponível no segundo separador do WebSIG.	106
Figura 61: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do sismo nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.	108
Figura 62: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do incêndio nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.	109

Figura 63: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do tsunami nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.	110
---	-----

Índice de tabelas

Tabela 1: Síntese dos parâmetros do tsunami de 1755 em Portugal.	3
Tabela 2: Síntese dos danos e dos óbitos em Portugal.	4
Tabela 3: Pontos de controlo utilizados para a georreferenciação da Carta 1 (Marinha Portuguesa, 1879) e respectivas coordenadas em graus decimais (WGS 84), ordenados por ordem de seleção.	36
Tabela 4: Pontos de controlo utilizados para a georreferenciação da Carta 2 (Marinha Portuguesa, 1893) e respectivas coordenadas em graus decimais (WGS 84), ordenados por ordem de seleção.	36
Tabela 5: Dados dos Censos anteriores e posteriores ao sismo de 1755 e número de vítimas mortais, compilados de Sousa (1928). Os dados apresentados dizem respeito a indivíduos com idade superior a 7 anos. Quando verificados dados com discrepância, os diferentes valores são separados por “;”.	50
Tabela 6: Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.	53
Tabela 7: Dados dos palácios e outros edifícios históricos considerados da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.	58
Tabela 8: Impacto do sismo, incêndio e tsunami nas igrejas (1-17) e outros edifícios (A-O) da área de estudo.	61
Tabela 9: Impacto do sismo, incêndio e tsunami em cada freguesia da área de estudo.	64
Tabela 10: Pontos levantados durante o trabalho de campo e respectivas coordenadas (latitude e longitude) em graus decimais, altura, precisão horizontal e vertical e número de satélites utilizados na recolha. Edifício ou local anterior ao evento mais próximo dos pontos assinalados (número/letra de acordo com Tabelas 7 e 8, Cap. 4.1.).	72

1. Introdução

1.1. Enquadramento e pertinência

No dia 1 de novembro de 1755, ocorreu um sismo a sudoeste de Portugal Continental que foi especialmente destrutivo neste território, bem como em Espanha e Marrocos (por ex., Grandin *et al.*, 2007), como indicado na Figura 1A. De acordo com Martínez Solares, López Arroyo, & Mezcuca (1979), a intensidade sísmica sentida em Lisboa terá sido de IX, em Portugal Continental só ultrapassada pelo Sudoeste Algarvio.

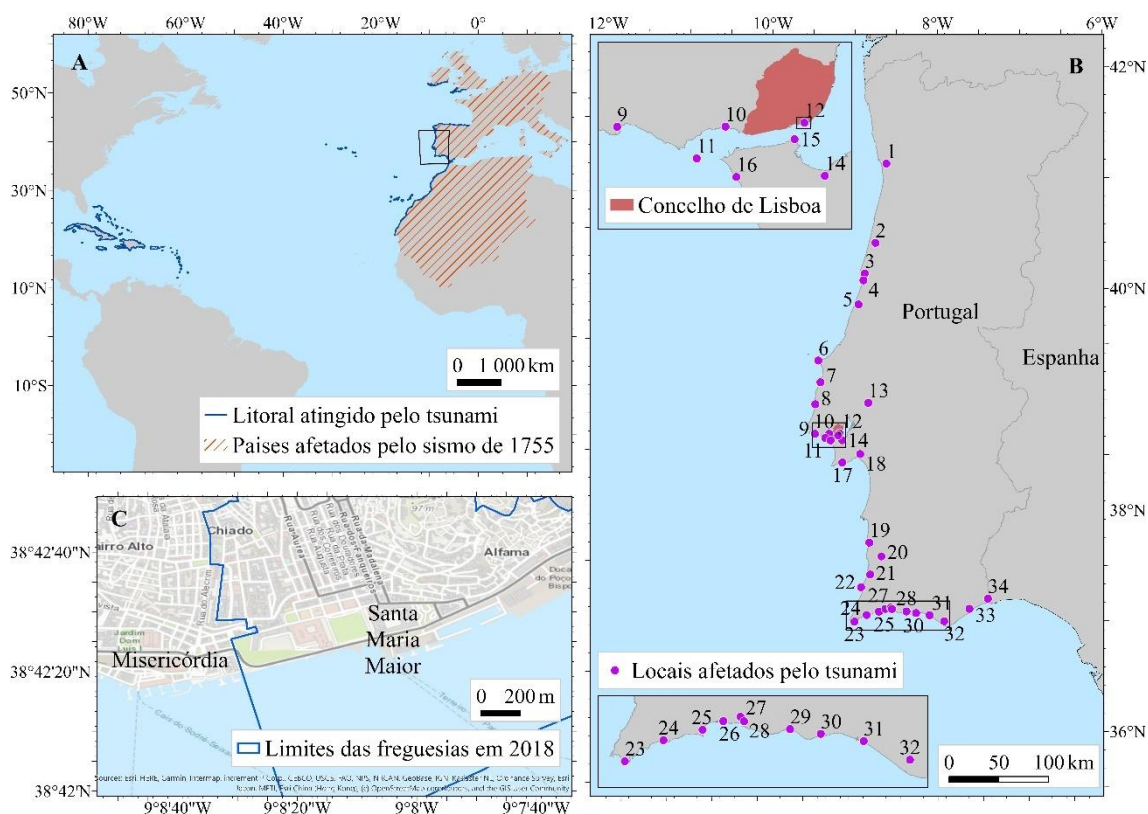


Figura 1: Regiões afetadas pelo sismo e tsunami: (A) no Atlântico Norte com base em Gutscher *et al.* (2006); (B) em Portugal continental (Santos & Koshimura, 2015); (C) área de estudo. Os locais estão numerados, com os parâmetros listados nas Tabelas 1 e 2.

Os limites das freguesias e de Portugal têm por base a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) - Versão 2018 Continente, originalmente com o sistema de coordenadas retangulares ETRS 1989 Portugal TM06, disponibilizada pela Direção-Geral do Território (DGT). Os limites dos continentes e de Espanha têm por base ArcGIS REST Services: o primeiro encontra-se disponível em https://services.arcgis.com/P3ePLMYs2RVChkJx/ArcGIS/rest/services/World_Countries_Generalized_analysis_t/m/FeatureServer com o sistema de coordenadas retangulares WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere); o último encontra-se disponível em https://services.arcgis.com/P3ePLMYs2RVChkJx/ArcGIS/rest/services/Europe_Countries_2017/FeatureServer, com o sistema de coordenadas geográficas GCS WGS 1984.

O sismo gerou um tsunami que atingiu as costas destes países (e.g. Silva *et al.* (2017)), chegando à Irlanda, Reino Unido e Caraíbas (e.g. Grandin *et al.*, 2007; Santos & Koshimura, 2015). Considerando que este desastre é um evento histórico sem dados instrumentais, tem diversas incertezas associadas. Contudo, através do cruzamento de diversas metodologias (análise dos relatos históricos, cálculo da hora do sismo com base em dados e cálculos de astronomia, modelação numérica do tsunami, análise de sedimentos, interpretação de perfis sísmicos, etc.) é possível compreender melhor o que aconteceu. O sismo terá começado, muito provavelmente, pelas 10:16,8 UT em Lisboa e pelas 10:17,2 UT em Cádiz (Santos *et al.*, 2011). A hora calculada em Cádiz é semelhante à calculada por Martínez Solares & Arroyo (2004). Deste modo, Santos *et al.* (2011) concluíram que a hora mais provável do início do sismo terá sido entre as 10:15 UT e 10:16 UT. Por sua vez, a duração total do sismo terá variado entre 8 e 15 minutos (Santos *et al.*, 2009).

A análise dos relatos históricos em Portugal permite obter informações relativas aos parâmetros do tsunami, nomeadamente tempos de percurso, resposta inicial, alturas máximas e número de ondas, período e duração da perturbação (Tabela 1). As regiões portuguesas mais próximas do possível epicentro (Figura 1B), nomeadamente o Sudoeste Algarvio, foram atingidas pelo tsunami menos de 30 minutos após o sismo (Santos & Koshimura, 2015). Ao fim de 90 minutos, todo o restante território continental português teria sido atingido (Santos & Koshimura, 2015). Segundo os mesmos autores, a altura das ondas ao atingir os territórios afetados rondou os 1,5 e os 6 metros, em geral. Porém, alguns locais foram descritos como tendo sido atingidos por ondas com altura muito superior, nomeadamente Sagres (#23, na Figura 1 e Tabelas 1 e 2) e as praias da Figueira da Foz (#3) e de Porto Novo (A-dos-Cunhados, #7) (Santos & Koshimura, 2015). Para a maioria dos locais, as descrições das testemunhas históricas apontam para a ocorrência de três ondas e para um período de onda de aproximadamente 10 minutos, conforme indicado na Tabela 1 (Santos & Koshimura, 2015). Segundo Santos & Koshimura (2015), os relatos históricos ressaltam ainda que se terão verificado perturbações no mar várias horas após o tsunami.

No entanto, os relatos do tsunami em Lisboa não permitiram identificar parâmetros relevantes, e por essa razão, Lisboa (#12) não está indicada na Tabela 1. Neste sentido, pretende-se com esta dissertação reanalisar os relatos do tsunami na zona ribeirinha de Lisboa (Figura 1C) de forma a perceber o comportamento do tsunami neste local.

Tabela 1: Síntese dos parâmetros do tsunami de 1755 em Portugal.

¹ Tempo de percurso não fiável; ² Altura da onda em arribas.

Fonte: Santos & Koshimura (2015c)

	Local	Tempo de percurso (min)	Resposta inicial	Run-up (m)	Número de ondas	Período	Duração da perturbação
1	Porto	-	Elevação	> 1,2-1,5	-	15 min	> 4 h
2	Mira	80	Elevação	-	Algumas	30 min	1 h 30 min
3	Figueira da Foz	-	Elevação	36	3	2 h	Até ao pôr do sol
4	Lavos	38-45 ¹	Elevação	-	1	-	-
5	Viera	-	-	-	1	-	-
7	A-dos-Cunhados	75	Elevação	16,2-18 ²	3	-	Toda a tarde
8	Ericeira	-	-	-	-	-	Todo o dia
9	Cascais	-	Elevação	12	3	Pouco tempo	-
10	Carnaxide	23-30	Elevação	6	3	-	-
11	Farol do Bugio	30	Elevação	-	3	-	-
13	Benavente	-	-	2-3	3	-	-
18	Setúbal	-	-	6-17,5	3	-	-
22	Aljezur	-	Subsidência Elevação	-54 N: 3,6; S: 54 ²	-	Poucos minutos	-
23	Sagres (Cabo de S. Vicente)	6-7 16-17	Subsidência Elevação	N: -11; E: -14 54 ²	-	-	-
23	Sagres (Fortaleza de Belixe)	-	-	54 ²	3	-	-
23	Sagres (Fortaleza de Sagres)	-	Subsidência Elevação	- N: 108; E: 144 ²	-	-	-
23	Sagres (Praia do Martinhal)	-	-	-	3	-	-
24	Budens	-	Elevação	10-12	-	-	-
25	Lagos	23-30	Elevação	6-9	-	-	-
27	Portimão	-	Elevação	10,8	-	-	-
30	Albufeira	-	Elevação	10,5	3	Poucos minutos	Até às 16 h
31	Quarteira	-	Elevação	10,8	5	-	-
	Porto Santo	-	Elevação	-	-	-	-
	Funchal	90	Elevação	6,6	4 ou 5	-	-
	Angra do Heroísmo	80	-	3	3	-	-

Os relatos históricos apontam ainda para uma distribuição desigual do número de vítimas e de danos deste evento (Tabela 2) (Santos & Koshimura, 2015). As características físicas do território continental português, nomeadamente a distância das várias localidades ao epicentro do sismo e a sua localização em regiões distantes do litoral, em arribas com elevada altitude, noutros pontos altos e em estuários e baías, justificam parte desta distribuição (Santos & Koshimura, 2015). Assim, como salientam os mesmos autores, os locais onde foram relatados danos e vítimas apresentam, em todos os casos, altitude inferior a 18 metros, nomeadamente localidades algarvias, como Lagos e Albufeira, e as cidades de Setúbal e de Lisboa (Tabela 2 e Figura 1B). Apesar das incertezas relativas aos censos, uma vez que no séc. XVIII não eram contabilizadas crianças com idade inferior a 7 anos, as descrições apontam para mais de 14 mil

vítimas mortais (Santos & Koshimura, 2015). De entre estas, cerca de 10 mil dizem respeito à cidade de Lisboa (#12, Tabela 2), o que corresponde a aproximadamente 9% da população da cidade aquando do evento (Santos & Koshimura, 2015). Apesar de diversos detalhes relativos aos danos no edificado ainda permanecem largamente desconhecidos, de acordo com os censos, cerca de 82% da cidade ficou destruída (Santos & Koshimura, 2015b).

Assim, pretende-se com esta dissertação analisar em detalhe os danos e vítimas do sismo, tsunami e incêndio nas freguesias da zona ribeirinha de Lisboa (Figura 1C).

Tabela 2: Síntese dos danos e dos óbitos em Portugal.

¹ danos/óbitos causados pelos sismo e tsunami; ² danos/óbitos causados pelos sismo, incêndio e tsunami; ³ inclui óbitos ocorridos durante o mês de novembro;

Fonte: Santos & Koshimura (2015c)

Local		Dano	Óbitos		Dados da população (> 7 anos)		
			Número	%	1755	1756	1758
1	Porto	-	0	0	-	-	1 857
2	Mira	-	0	0	-	2 219	-
3	Figueira da Foz	-	0	0	-	900	-
4	Lavos	-	0	0	-	1 537	-
5	Viera	-	0	0	-	622	-
6	Peniche	Destruíu a muralha, casas e navios	> 50	> 1,1	-	-	4 673
7	A-dos-Cunhados	Destruíu o convento de Penafirme	0	0	-	575	650
8	Ericeira	Barcos foram arrastados para longe	0	0	-	-	1 255
9	Cascais	Mais de 50 navios e barcos de pesca foram destruídos; quase todos os edifícios desmoronaram ¹	> 624-664 ¹	> 24,9-26,7	-	2 484 - 2 505	2 592
10	Carnaxide	Destruição da ponte da Cruz Quebrada	1	0,05	-	-	1 944
11	Farol do Bugio	Detritos arrastados	Pessoas foram arrastadas	4	-	-	-
12	Lisboa	Destruição de muitos edifícios ²	10 000 ^{2, 3}	6,4-9,1	109 754 - 157 192	50 808	156 254
13	Benavente	-	0	0	-	2 208	-
14	Seixal	-	Muitos ¹	4	-	-	1 018
15	Almada	-	> 26 ¹	> 1	-	-	3 867
16	Caparica	-	5	0,3	-	-	1 484
17	Sesimbra	Destruíu os navios	0	0	-	-	1 534
18	Setúbal	Destruição da muralha, de muitos navios e de edifícios ²	> 2 000 ²	> 16,9	-	-	11 842
19	Vila Nova de Mil Fontes	Destruíu 3 casas de praia	0	0	-	-	364
20	Odemira	-	0	0	-	-	1 140
21	Odeceixe	-	0	0	-	-	320
22	Aljezur	Destruíu a fortaleza	0	0	-	-	1 044
23	Sagres	Destruíu as vinhas	0	0	-	-	198
24	Budens	Destruíu a rede de pesca Almadena, com 50 âncoras pesadas	0	0	-	-	344

Tabela 2 (CONTINUAÇÃO): Síntese dos danos e dos óbitos em Portugal.

¹ danos/óbitos causados pelos sismo e tsunami; ² danos/óbitos causados pelos sismo, incêndio e tsunami; ³ inclui óbitos ocorridos durante o mês de novembro;

Fonte: Santos & Koshimura (2015c)

Local		Dano	Óbitos		Dados da população (> 7 anos)		
			Número	%	1755	1756	1758
25	Lagos	Destruição da muralha, de muitos navios e de edifícios ²	> 300 ^{1,3}	> 17,4	-	-	1 723
26	Alvor	Arrasou a capela	0	0	-	-	892
27	Portimão	Destruiu os pântanos salgados, hortas, casas e 3 moinhos de água. No recuo das águas, foram arrasados a Fortaleza de São João e o Convento dos Capuchos	38	2,1	-	-	1 802
28	Ferragudo	Destruiu $\frac{1}{3}$ das casas	0	0	-	-	566
29	Armação de Pera	Destruiu a fortaleza e muitas casas	60-84	5,8-8,1	-	-	1 042
30	Albufeira	Destruiu um bairro e a muralha	> 227	> 10,4	-	-	2 189
31	Quarteira	-	28-52	1,5-2,8	-	-	1 841
32	Faro	-	0	0	-	-	6 951
33	Tavira	Danos significativos ¹	250 ¹	2,6	-	-	9 494
34	Castro Marim	Tudo foi arrasado ¹	> 180 ¹	> 55,2	-	-	326
	Porto Santo	Inundou a cidade, e apenas uma casa foi arrasada pelo mar	0	0	-	-	-
	Funchal	No norte da ilha o mar recuou deixando em terra uma grande quantidade de peixes	0	0	-	-	-
	Angra do Heroísmo	Demoliu muitas casas	0	0	-	-	-

Uma vez que a zona ribeirinha de Lisboa foi praticamente toda reconstruída depois do sismo, é importante considerar o mapa de Lisboa pré-sismo de 1755, de modo a corretamente interpretar os relatos dos sobreviventes. Neste sentido, pretende-se com esta dissertação compilar cartografia histórica, em colaboração com o Museu de Lisboa (Palácio Pimenta), da zona ribeirinha de Lisboa pré-sismo de 1755. Além disso, o Museu possui iconografia relativa ao evento de 1755 cuja análise também contribui para a compreensão do desastre. Paralelamente, a compilação de fotografias da maquete de Lisboa disponível no Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) permite ainda a análise dos resultados do modelo tridimensional do Terreiro do Paço pré-sismo. A compilação de dados arqueológicos também possibilita uma melhor reprodução do modelo tridimensional da zona de estudo.

Por outro lado, a utilização de modelos numéricos permite a produção de cenários. Um dos pontos cruciais na modelação numérica de um tsunami é a identificação dos parâmetros do sismo que lhe deu origem, nomeadamente o local da falha. No entanto, até 2005 havia várias propostas de localização da fonte do sismo e tsunami de 1755 (Santos *et al.*, 2009), todas com

pontos positivos e negativos, e por isso não havia consenso relativo à falha mais provável. Apesar de todas as incertezas, diversos autores têm identificado várias “pistas” que apontam para o Banco de Gorringe (localizado a cerca de 200 km a Sudoeste de Sagres) como sendo o local mais provável para a origem deste evento histórico, sumarizado por Santos *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2019): i) identificação da intensidade sísmica em Portugal Continental, através da combinação de relatos históricos, danos no edificado e geologia; ii) análise de sedimentos no Reino Unido que foi validada pelos relatos da Cornualha, que identificam quatro ondas maiores, sendo a primeira e segunda não tão elevadas como a terceira e quarta; além disso, esses sedimentos foram identificados como uma assinatura do tsunami de 1755; iii) avaliação do momento sísmico que permitiu a proposta da fonte de 1755 no Banco de Gorringe, com magnitude M_w 8,7 e dimensões 200 por 80 km; iv) identificação de *turbidites* perto do Banco de Gorringe que foram associadas ao sismo de 1755; v) modelação da intensidade sísmica que validou a intensidade observada; vi) análise de *wave ray* que determinou a fonte do tsunami no Banco de Gorringe; vii) a resposta inicial do tsunami, com subsidência em Cádiz (Espanha) e em Marrocos, a maioria dos tempos de percurso do tsunami, e o número de ondas no Reino Unido que foram validados pela modelação numérica de tsunami à escala regional (Figura 2); viii) a modelação numérica do tsunami aplicada à escala local que permitiu reproduzir a maioria dos parâmetros do tsunami de 1755 (Tabela 1) em Setúbal, Peniche, Lourinhã, Vila do Bispo e Albufeira. No entanto, de que se tenha conhecimento, esta abordagem ainda não foi aplicada à zona ribeirinha de Lisboa.

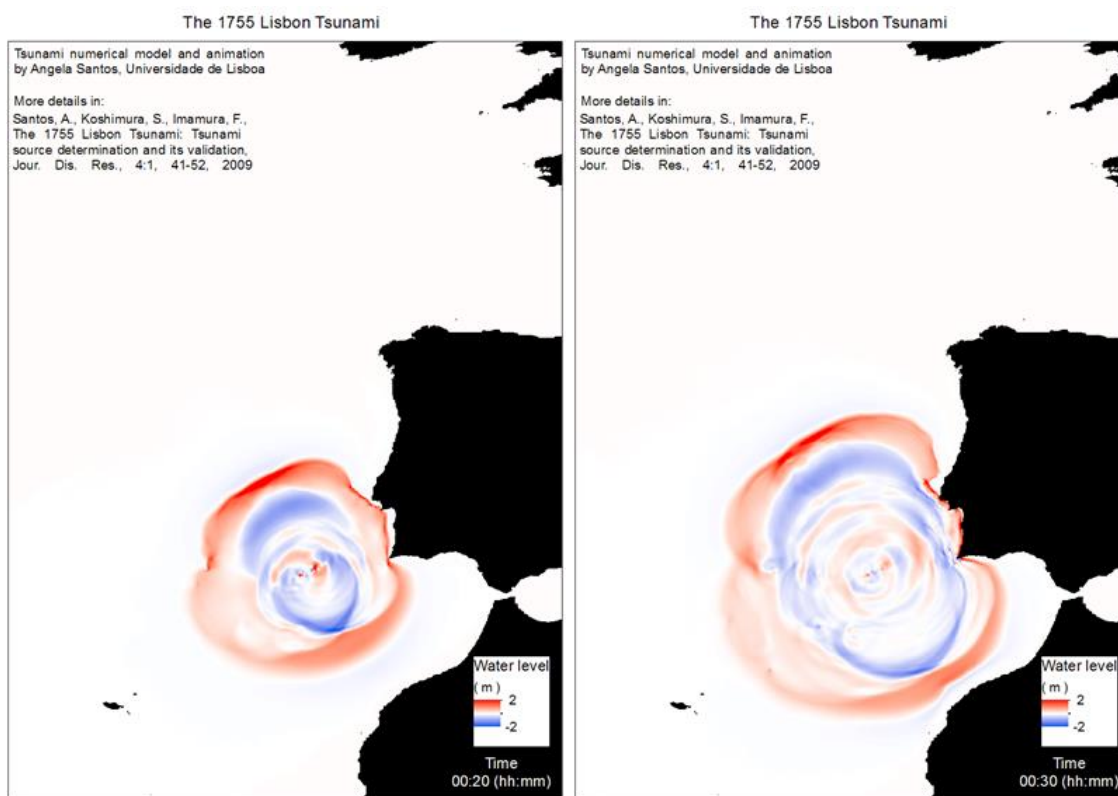


Figura 2: Resultados da modelação numérica de tsunamis de 1755 à escala regional: *snapshots* da altura da água para 20 e 30 minutos após o sismo (animação do modelo com base em Santos *et al.* (2009), no âmbito do Projeto Tsurima (2012-2015), disponível em <https://sites.google.com/a/campus.ul.pt/tsurima/publications>).

Assim, pretende-se com esta dissertação analisar os resultados da modelação numérica do tsunami de 1755 aplicada à escala local, na zona ribeirinha de Lisboa (Figura 1C), com cartografia pré-sismo. Esta abordagem permite calcular tempos de percurso, número de ondas, altura máxima da água e zonas inundáveis, bem como a identificação de edifícios potencialmente afetados pelo desastre.

Por outro lado, as potencialidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no estudo da cartografia histórica e de outras informações históricas têm sido recentemente exploradas (Costa, 2015). De entre estas competências, foram destacadas nestes trabalhos as maiores capacidade e facilidade em manipular, gerir e visualizar as informações presentes em cartografia histórica associada aos SIG (Costa, 2015). Alguns trabalhos recorreram a cartografia histórica, ou outra informação histórica, como base para as suas aplicações (Alves & Puig, 2011; Martí-Henneberg, 2008; Noizet & Grosso, 2011). Em muitos casos, foram igualmente elaboradas bases de dados geográficas (Alves & Puig, 2011; Costa, 2015) e aplicações WebSIG para a divulgação e/ou monitorização de património histórico e cultural de forma interativa para o utilizador (Baptista, 2014; Barbosa, 2014; Fernandes *et al.*, 2014; Pereira, 2017), nomeadamente em ambiente urbano (Gonçalves, 2012; Baptista *et al.*, 2015), e/ou, inclusivamente, para

representar a evolução histórica (Alves & Puig, 2010) ou reconstituir espacialmente períodos ou eventos / acontecimentos históricos em áreas urbanas (Noizet & Grosso, 2011). Os últimos autores procuraram, inclusivamente, georreferenciar um atlas composto de diversas plantas de partes da cidade de Paris para a reconstituição da morfologia da cidade no período pré-industrial (Noizet & Grosso, 2011). Na construção e implementação de aplicações WebSIG foram, em alguns casos, utilizados somente tecnologias e ferramentas de acesso e código livres (Gonçalves, 2012). Contudo, em apenas um dos casos o mesmo foi realizado para a cidade de Lisboa (Pereira, 2017), não tendo nenhum sido elaborado no âmbito do tsunami de 1755.

Assim, em colaboração com o Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) pretende-se com esta dissertação a criação e implementação de uma aplicação WebSIG interativa. Com esta ferramenta será possível não apenas a organização, a compilação e a georreferenciação de um grande volume de informação relativa aos danos e locais afetados pelo sismo e pelo tsunami ocorridos a 1 de novembro de 1755, como também a sua apresentação em formato interativo e visualmente atrativo, para que um qualquer indivíduo possa tomar conhecimento desta informação e consultá-la através da internet ou numa visita ao museu.

1.2. Objetivos

Assim, tendo em consideração o estado da arte do tsunami de 1755 apresentado na secção anterior, esta dissertação permitirá e inovará através da:

- Reanálise dos relatos históricos do evento de 1755 na zona ribeirinha de Lisboa (Figura 1C) de forma a perceber o comportamento do tsunami neste local;
- Análise dos danos e vítimas do sismo, tsunami e incêndio nas freguesias da zona ribeirinha de Lisboa (Figura 1C);
- Compilação de cartografia histórica da zona ribeirinha de Lisboa, pré-sismo de 1755, iconografia relativa ao evento de 1755 e compilação de dados arqueológicos;
- Desenvolvimento e análise do modelo tridimensional do Terreiro do Paço pré-sismo;
- Análise dos resultados da modelação numérica do tsunami;
- Construção e divulgação de uma aplicação WebSIG, de modo a permitir acesso à informação de forma interativa.

1.3. Organização e estrutura do documento

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, incluindo um capítulo introdutório (Figura 3). No segundo capítulo é realizada uma revisão da literatura relativa às

várias temáticas referidas e metodologias utilizadas: identificação de relatos históricos de Lisboa e respetivas fontes (Cap. 2.1); principais aspetos da cartografia histórica em Portugal (Cap. 2.2); metodologias para a manipulação de cartografia histórica em ambiente SIG (Cap. 2.3); definição e apresentação das principais componentes da WebSIG (Cap. 2.4).

O terceiro capítulo resume as diversas metodologias utilizadas nesta dissertação, que se cruzam e se complementam: apresentação dos relatos históricos compilados relativos à zona baixa de Lisboa anterior ao evento, em especial do que diz respeito ao impacto do tsunami a nível local (Cap. 3.1); compilação da cartografia e iconografia histórica e dos dados arqueológicos utilizados associados a Lisboa e ao evento (Cap. 3.2); apresentação do trabalho desenvolvido em campo para levantamento da localização e de fotografias de diversas igrejas, palácios e outros edifícios presentes aquando do evento (Cap. 3.3); exposição dos procedimentos seguidos na modelação tridimensional do Terreiro do Paço através do *software* Pix4D (Cap. 3.4); elaboração do Modelo Digital do Terreno (Cap. 3.5); e exposição das etapas seguidas para a construção do WebSIG (Cap. 3.6).

No quarto capítulo são expostos e discutidos os resultados obtidos: identificação e análise das principais diferenças identificadas entre a linha de costa atual e histórica com base na cartografia histórica e no trabalho de campo (Cap. 4.1); compilação de diferentes aspetos relativos às igrejas, aos palácios e a outros edifícios localizados na área de estudo (Cap. 4.2); compilação do número do edifícios e indivíduos residentes por freguesia antes e depois do evento e do número de vítimas (Cap. 4.2); compilação do impacto do sismo, do incêndio e do tsunami no edificado e nas freguesias históricas (Cap. 4.3); apresentação e análise do modelo tridimensional da área de estudo (Cap. 4.4); apresentação e análise dos principais resultados do modelo numérico do tsunami de 1755 na zona baixa da cidade (Cap. 4.5); e apresentação do WebSIG, onde são apresentados os principais resultados obtidos, e das suas principais funcionalidades (Cap. 4.6). São também discutidas as limitações e as dificuldades sentidas no desenvolvimento do WebSIG (Cap. 4.6). No último capítulo são apresentadas as conclusões desta dissertação (Cap. 5).

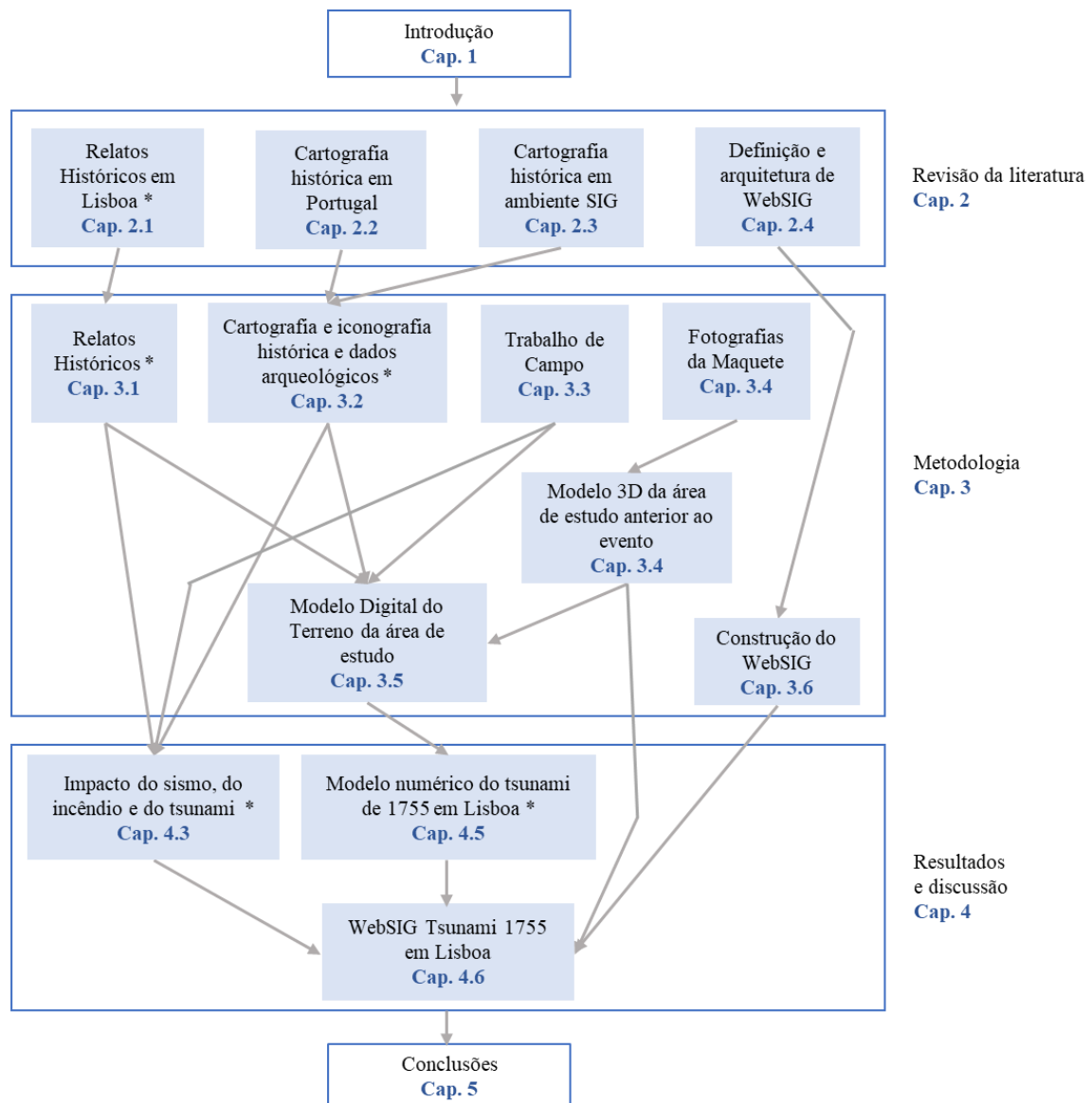


Figura 3: Organização e estrutura da dissertação.

2. Revisão da literatura

2.1. Relatos históricos em Lisboa

Imediatamente após o sismo houve um esforço em fazer um levantamento do impacto do desastre. Assim, de acordo com os registos históricos, a classificação foi feita à freguesia: freguesias queimadas, “bem livradas” (sem danos) e “arruinadas” (apenas com danos relativos ao sismo). Esta compilação foi realizada originalmente por Sousa (1928), onde aparecem listadas as freguesias queimadas (São Paulo, São Julião, Madalena, Sé e São João da Praça) e onde a freguesia de São Miguel surge como a única arruinada. No entanto, como é possível verificar-se pela Figura 4 os limites e nomes das freguesias da zona ribeirinha de Lisboa têm mudado com o tempo, e torna-se impossível de identificar no território o que realmente é descrito nos relatos históricos. De facto, na Figura 4A não aparecem as freguesias de São Julião e de São João da Praça, não sendo igualmente possível identificar a sua localização. O limite das freguesias relativo a 2018 (Figura 4B) torna ainda mais difícil a interpretação dos relatos históricos. Neste sentido, é necessário compilar cartografia histórica, descrita na seção seguinte, que inclua os limites administrativos das freguesias de Lisboa do séc. XVIII. Por outro lado, não existem dados concretos relativos ao tsunami em Lisboa (#12, Figura 1 e Tabela 1), sendo por isso um dos objetivos desta dissertação a reavaliação dos relatos históricos na zona ribeirinha de Lisboa de modo a avaliar o impacto do tsunami neste território.

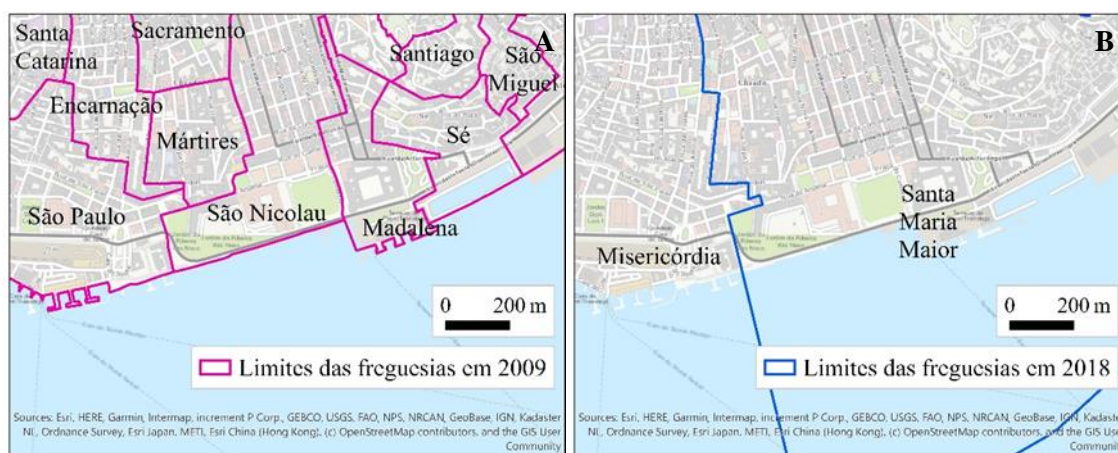


Figura 4: Limites das freguesias com a classificação dos danos (Sousa, 1928): (A) em 2009; (B) em 2018, e até à data da presente dissertação.

Os limites das freguesias têm por base a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) – Versão de 2009 e de 2018 (Continente), originalmente com o sistema de coordenadas retangulares ETRS 1989 Portugal TM06, disponibilizada pela Direção-Geral do Território (DGT).

Paralelamente, vários autores têm tentado identificar algum do edificado na zona de estudo (Figura 1C), embora a localização destes tenha sido difícil e por vezes contraditória. Vieira da Silva (1987b) identificou 2 palácios (Marquês de Angeja e do Conde Vila-Flor), o Terreiro do Trigo, e Tribunal das Sete Casas. Posteriormente, Proença (1991) identificou outros 2 palácios (Marquês de Távora e Conde Vila-Flor), Terreiro do Trigo e Casa dos Bicos. Identificou ainda 6 igrejas (Nossa Senhora da Misericórdia, São Miguel, São Paulo, São Pedro, Convento dos Dominicanos Irlandeses e São Julião). Mais recentemente, Barros (2016) identificou 4 Palácios (Condes de Coculim, Conde de Aveiro, Marquês de Távora e Marquês de Angeja). Assim, é necessário uma investigação mais aprofundada no que respeita à localização destes edifícios, bem como na identificação de outros.

2.2. Cartografia histórica em Portugal

Para a reconstrução e/ou modelação de qualquer evento passado é imprescindível a utilização de cartografia histórica (Rumsey & Williams, 2002). Esta, contém informações que não existem em mais nenhum tipo de documento da época, em particular informação geográfica do território em questão, como a topografia e o aspeto da paisagem e, inclusivamente, as designações das povoações e outros pontos de interesse (Rumsey & Williams, 2002). Porém, consoante o período a que dizem respeito, que tem repercussões no estado da técnica, e o tipo de arte do(s) seu(s) autor(es), as cartas históricas apresentam diferentes perspetivas do território e rigor (Rumsey & Williams, 2002). A cartografia histórica constitui-se, assim, uma importante fonte documental histórica, com informações únicas relativas ao passado (Rumsey & Williams, 2002).

Em Portugal, foi a partir do séc. XV, com as viagens marítimas realizadas pelos Portugueses no contexto dos Descobrimentos que se iniciou a colaboração entre geógrafos e cartógrafos e começaram a surgir as primeiras cartas, relação esta que foi sendo aumentada à medida que o tempo decorria e os territórios conhecidos se acumulavam (Dias & Botelho, 1998; Dias, 2001). Durante os primeiros dois séculos, a cartografia em termos gerais apresentou grande desenvolvimento, fruto dos novos instrumentos criados por portugueses e estrangeiros e das novas técnicas, nomeadamente a Projeção de Mercator (Rocha & Henriques, 2014).

De acordo com Dias & Botelho (1998), ambas as ciências foram-se desenvolvendo, desde as primeiras cartas de marear até aos dias de hoje com os SIG, em particular no que respeita à técnica aplicada e às aplicações da cartografia produzida. A cartografia produzida através desta colaboração tem visto a sua aplicação chegar a vários campos da sociedade civil, nomeadamente a investigação e a prevenção de catástrofes (Dias & Botelho, 1998). Quando esta relação teve início, Portugal encontrava-se na dianteira da Cartografia a nível mundial, devido não apenas à

presença em território nacional de uma das melhores escolas para cartógrafos, como pela quantidade e diversidade de locais explorados pelos portugueses, sendo, porém, indivíduos estrangeiros, em particular ingleses, franceses e holandeses, que divulgariam esta cartografia internacionalmente através de atlas (Dias & Botelho, 1998). Por essa razão, como salientam os mesmos autores, muita da cartografia histórica que chegou aos dias de hoje (porque parte dela acabou por se perder) encontra-se no estrangeiro e não em arquivos nacionais, embora em muitos casos tenha sido produzida por cartógrafos portugueses. Além disso, porque antes de meados do séc. XIX não era possível, em Portugal, imprimir as diversas cartas, muita da cartografia anterior terá sido perdida e por isso permanecerá desconhecida (Dias & Botelho, 1998). Este desconhecimento é, como é referido por Dias & Botelho (1998), igualmente motivado por outros desastres, como o de 1755, que poderão também ter levado à perda de cartografia produzida até então. Por tudo isto, e devido à precoce técnica utilizada até então, torna-se complicado encontrar cartografia histórica que represente com rigor a região de Lisboa.

Nos finais do séc. XVIII, mais concretamente em 1788, com o começo da utilização da técnica de triangulação, assiste-se ao início da designada Cartografia Moderna em Portugal, em paralelo com o que sucedia em França (Dias & Botelho, 1998). A partir desse momento, a cartografia é dividida em diversos ramos, nomeadamente a Cartografia topográfica e hidrográfica, sendo produzidas novas cartas de ambos os tipos (Dias & Botelho, 1998). São igualmente separadas a cartografia militar e a cartografia civil (Dias & Botelho, 1998). Sobretudo a partir da última década do séc. XVIII, como salientam Dias & Botelho (1998), começam a ser elaboradas diversas cartas hidrográficas que procuram, em muitos dos casos, fornecer indicações sobre a navegação nos rios portugueses, ou até apoiar no controlo de cheias nos mesmos. Esta era então uma tarefa fundamental dada a importância económica dos rios portugueses enquanto porta relevante de entrada no país, tanto de pessoas como de bens (Dias & Botelho, 1998), nomeadamente o Tejo.

A Cartografia Moderna é, assim, caracterizada por cartas com maior detalhe e crescentemente com maior rigor e menos “fantasiosas”, tanto de cartas terrestres como náuticas (Dias & Botelho, 1998).

O surgimento da técnica de triangulação, que permitia obter topografia com maior rigor (Dias, 2001), baseado em observações astronómicas e geodésicas, vem acompanhado com a necessidade de criar cartografia com origem portuguesa e com rigor (Dias & Botelho, 1998). Até então, era notável a escassez ou mesmo ausência de cartas portuguesas que pudessem apresentar rigor suficiente para servir o reino e a armada (Dias & Botelho, 1998). Em lugar destas, eram frequentemente utilizadas cartas que ostentam erros significativos e eram produzidas no estrangeiro (Dias & Botelho, 1998). À medida que a técnica de triangulação era

aperfeiçoada, em particular os trabalhos geodésicos, as cartas passam a apresentar cada vez maior rigor e menos distorções (Dias & Botelho, 1998). Algumas décadas mais tarde, segundo Dias & Botelho (1998), em meados do séc. XIX, a cartografia passa a ser elaborada por instituições públicas, em resultado da necessidade de elaborar com grande detalhe coberturas do país, tarefa que exige grande volume de recursos.

Em verdade, até ao início do séc. XIX era relativamente escassa a inovação, apenas se registando uma relativa melhor técnica em algumas cartas francesas ou inglesas, nomeadamente da barra de Lisboa (Dias & Botelho, 1998). Por isso, devemos a estas nações o pouco que existe de cartografia desse período, cuja técnica evoluiu a partir do séc. XVII, relativamente mais cedo que em Portugal, especialmente em França (Dias & Botelho, 1998).

Em Portugal, graças sobretudo ao esforço de Maria Helena Dias em parceria com o Instituto Geográfico do Exército, foi desenvolvido o designado “Projeto SIDCarta” que constitui, provavelmente, o maior exemplo português de uma tentativa de disponibilização da informação cartográfica histórica (Dias, 2003b). Este projeto procurou na altura disponibilizar, tratar, organizar e, conseqüentemente, facilitar a consulta, preservar, valorizar e divulgar uma coleção composta por aproximadamente 12 000 documentos históricos (Dias, 2003b). Estes documentos, produzidos por militares portugueses ou estrangeiros ao serviço do país no período entre meados do séc. XVIII e finais do séc. XIX, resumem-se sobretudo a cartas e a plantas, sendo esta coleção considerada uma das maiores em termos cartográficos e históricos no país (Dias, 2003b).

Com recurso à técnica da triangulação (Dias & Botelho, 1998), o Plano Hidrográfico da Barra do Porto de Lisboa foi publicado em 1857 (Dias, 2003c). Esta é uma das cartas utilizadas nesta dissertação. No séc. XIX as cartas são na sua maioria elaboradas por militares, sejam elas topográficas ou hidrográficas, como é o caso de duas outras cartas também utilizadas nesta dissertação, que apenas surgem nesse momento. Estas cartas serão apresentadas em mais detalhe no Capítulo da Metodologia (Cap. 3).

2.3. Cartografia histórica em ambiente SIG

Os SIG, enquanto ferramenta, só começaram a ser utilizados pela geografia histórica em meados da última década do séc. XX (Gregory *et al.*, 2001). Porém, a partir desse momento a sua utilização e as suas aplicações foram imediatamente apresentando um rápido e sucessivo crescimento (Gregory & Ell, 2007). Este desenvolvimento tem sido de tal ordem que deu origem a uma nova área de estudos designada de SIG histórico (*historical GIS*), respeitante ao estudo do passado com recurso a SIG (Gregory & Ell, 2007). No fundo, tal sucede porque os

SIG permitem que os dados de cariz geográfico, como os que são representados na cartografia histórica, sejam integrados, manipulados, organizados, armazenados, analisados e apresentados (Gregory & Ell, 2007; Gregory & Healey, 2007; Umbelino *et al.*, 2009) mais facilmente e de uma forma que mais nenhum outro tipo de ferramenta permite até ao momento (Gregory & Ell, 2007). A cartografia histórica fornece informações únicas por vezes sobre a distribuição espacial e ocupação do solo no passado (Kaim *et al.*, 2016), sendo de grande importância para estudos do passado que se aliem aos SIG. No espaço de uma década os SIG passaram a ser amplamente acessíveis através da evolução tecnológica que permitiu a diminuição dos seus custos em equipamento e a melhoria das suas funções (Wheatley & Gillings, 2002). Desde o início do séc. XXI, os SIG são usados por todos os que pretendem trabalhar informação espacial que, por defeito, apresenta localização geográfica associada (Wheatley & Gillings, 2002). Todavia, ao contrário de outras disciplinas a que aplicam esta metodologia, a geografia histórica é caracterizada por um pequeno volume de dados com erro e incerteza elevados constantemente a si associados.

São assim diversas as vantagens da utilização dos SIG no estudo de geografas históricas. De entre estas destacam-se:

1. **Manipulação e organização de dados históricos:** ao digitalizar, introduzir em ambiente SIG e georreferenciar a cartografia histórica, o utilizador permite que os dados históricos que esta contém sejam manipulados de forma a facilitar a sua análise e potenciar o seu rigor (Rumsey & Williams, 2002; Oliveira, 2014). Cada dado histórico introduzido em ambiente SIG tem a si associado um conjunto de coordenadas relativos à sua posição na superfície terrestre. Através desta informação, em ambiente SIG, é possível identificar a localização e as relações espaciais que existem entre os dados, inclusive de diversos tipos e fontes (Gregory & Ell, 2007), criados para diferentes escalas (Gregory & Healey, 2007) e relativos a diferentes períodos temporais (MacDonald & Black, 2000). Os SIG potencializam a manipulação dos dados históricos e a sua associação e espacialização, permitindo que novos mapas sejam construídos a partir dos históricos (Oliveira, 2014). Possibilitam também que os vários dados sejam dispostos em diferentes camadas que se sobrepõem entre si, permitindo apresentar diversa informação com carácter espacial em simultâneo (Wescott & Brandon, 2000; Wheatley & Gillings, 2002), a qualquer escala (Martí-Henneberg, 2011). Neste sentido, podem ser, por exemplo, sobrepostos mapas de distribuição de limites administrativos temporalmente distintos e ainda outras informações relativas à distribuição de cursos de água ou de povoamentos. Mesmo que dados apresentem projeções cartográficas diferentes consoante a sua origem, o *software* SIG permite que todos sejam padronizados e, com isto, possa ser analisada a sua distribuição (Gregory & Ell, 2007).

Estas informações, uma vez devidamente organizadas e estruturadas, podem ser inseridas em base de dados geográficas digitais, onde esta informação pode ficar armazenada (Gregory & Ell, 2007). Os SIG apresentam também, em diversos casos, funções para a realização de consultas espaciais a estas bases de dados geográficas (Umbelino *et al.*, 2009).

2. **Maior facilidade em visualizar os dados das fontes históricas e os resultados obtidos com os mesmos:** a manipulação, e consequente representação, dos dados em ambiente SIG permite detetar padrões e relações espaciais entre estes através da sua distribuição e, a partir daí, analisá-los (Gregory & Ell, 2007; Oliveira, 2014; Statuto *et al.*, 2017). Os SIG permitem também medir distâncias e calcular áreas com base em cartas históricas, bem como alterar a perspetiva de observação que é feita das mesmas (Rumsey & Williams, 2002). Facilitam a representação tridimensional da informação desta cartografia (Statuto *et al.*, 2017), assim como a criação de mapas da distribuição dos dados, tornando a tarefa mais rápida e eficiente, seja para serem impressos ou apresentados digitalmente (Gregory & Ell, 2007).
3. **Novas técnicas de análise espacial dos dados das fontes históricas** que podem ser aplicadas a cada objetivo e tipo de dados (Gregory & Ell, 2007). Os SIG permitem que seja possível interpretar e analisar uma grande quantidade de dados históricos a uma velocidade bastante superior à permitida sem esta ferramenta e através de novos tipos de abordagens, bem como combinar estes dados com informações de outras naturezas, nomeadamente dados geológicos (Wescott & Brandon, 2000).

Por outro lado, os SIG permitem lidar com dados históricos de uma forma “inovadora e poderosa”, facilitando a exploração dos mesmos, possibilitando a análise de padrões e relações espaciais ao longo do tempo (Gregory & Ell, 2007). Todavia, como salientam os autores anteriores, porque se trata de uma ferramenta informática, não está isenta de chegar a falsos resultados por ter na base somente modelos matemáticos. Cabe ao utilizador analisar estes resultados e conhecer as melhores formas de manipular os dados, tendo em consideração as limitações dos mesmos (Gregory & Ell, 2007).

Em todo o caso, existem desvantagens associadas aos dados históricos e / ou às suas fontes, em particular a sua inexatidão, incerteza e escassez (Schindling & Harris, 2018), ou o simples facto das informações históricas estarem incompletas (Gregory & Ell, 2007). Um dos maiores problemas, consiste na dificuldade em encontrar fontes confiáveis e na escassez de utilização de metadados (Gregory & Healey, 2007). Sem metadados, encontrar e distinguir os dados que podem ser apropriados a um determinado estudo constitui uma tarefa de grande dificuldade e complexidade (Gregory & Ell, 2007). Além disso, a introdução de mapas históricos em

ambiente SIG exige também cuidados especiais com a sua digitalização, edição manual dos seus conteúdos através de vetorização e retificação geométrica da mesma relacionada com o processo de georreferenciação (Kaim *et al.*, 2016), consoante a qualidade da técnica aplicada na carta. Estas desvantagens dos dados históricos, como referem Gregory & Ell (2007), revelam-se dificuldades acrescidas à utilização dos SIG, que apresentam melhores resultados quando os dados são em maior quantidade e apresentam elevada exatidão. Além disso, trabalhar em ambiente SIG com dados históricos exige não apenas conhecimentos históricos e geográficos como conhecimento relacionado à utilização de SIG (Gregory & Ell, 2007).

Embora existam estas dificuldades, à medida que vão aumentando as aplicações desta ferramenta no estudo do passado fica cada vez mais claro que os SIG podem também ser utilizados para dados com menor precisão e de tipo qualitativo, levando a mais e melhores conclusões que outros métodos alternativos (Gregory & Ell, 2007).

Por tudo isto, torna-se inquestionável a importância e a mais-valia que os SIG acrescentam à cartografia história ao nível técnico, bem como o novo tipo de conhecimento e a maior diversidade de aplicações que esta fornece aos SIG (Rumsey & Williams, 2002). Os SIG permitem, assim, otimizar as possibilidades de representação, recuperação e compreensão do conhecimento disponível nestas cartas (Rumsey & Williams, 2002; Oliveira, 2014; Rocha & Henriques, 2014), permitindo, inclusivamente, que as informações presentes nas cartas históricas possam ser manipuladas (Umbelino *et al.*, 2009) e visualizadas interactivamente na atualidade, por qualquer utilizador de ferramentas SIG que lhes tenha acesso, inclusivamente *online* (Rocha & Henriques, 2014; Schindling & Harris, 2018). A manipulação dos conteúdos das cartas históricas promove fortemente o conhecimento e a divulgação do carácter espacial de aspetos históricos (Schindling & Harris, 2018). A digitalização da cartografia histórica, só por si, permite avaliar as alterações espaciais verificadas nos territórios entre o passado e a atualidade, tornando o SIG uma ferramenta importante no planeamento dos territórios (Statuto *et al.*, 2017). O crescente desenvolvimento tecnológico, que tem permitido um progressivo desenvolvimento da capacidade de visualização dos dados espaciais permitido pelos SIG, e da acessibilidade e da amigabilidade das suas interfaces, permitirá que o erro diminua e que os SIG sejam cada vez mais uma mais-valia, não apenas para os estudos históricos (Gregory & Healey, 2007).

Mais recentemente, os SIG têm sido amplamente utilizados na produção e manipulação de cartografia, inclusivamente respeitante à vulnerabilidade sísmica (Vicente *et al.*, 2015) e de tsunamis (Barros *et al.*, 2015; Santos & Koshimura, 2015a; Tavares *et al.*, 2017). No entanto, o mesmo não sucede no que respeita à cartografia histórica, para o qual não são muitos os trabalhos que manipulam este tipo de informação em ambiente SIG. Esta dificuldade aumenta

quando se trata do evento de 1755. Neste caso, são muito poucas as publicações que fazem referência à utilização de cartografia histórica, uma das quais referente ao concelho da Vila do Bispo (Santos & Koshimura, 2015b). Estes autores disponibilizam as animações do modelo numérico do tsunami de 1755 para a cartografia histórica e atual, o que também é muito pouco frequente em Portugal (<https://sites.google.com/a/campus.ul.pt/tsurima/publications/a-papers-1>).

2.4. Tsunami

De acordo com a Intergovernmental Oceanographic Commission (2019), o termo tsunami, cuja origem remota ao Japão, resulta da conjugação de dois caracteres daí oriundos: porto (“tsu”) e onda (“nami”). Esta designação refere-se à ocorrência de uma série de ondas de grande comprimento de onda e cujo período, igualmente elevado, se situa por norma entre os 10 e os 60 minutos (IOC, 2019). Este tipo de fenómenos está associado à ocorrência de deslizamentos submarinos ou terrestres, erupções vulcânicas e, em muitos casos, de sismos (IOC, 2019), à semelhança do que terá sucedido a 1 de novembro de 1755.

Ao aproximar-se da linha de costa, onde a profundidade é menor, a altura das ondas tende a aumentar progressivamente, enquanto que o seu comprimento de onda diminui (IOC, 2019). Esta situação leva a que se registem, em muitos casos, consideráveis danos e vítimas associados à ocorrência de tsunamis (IOC, 2019).

A onda provocada por um tsunami, em cada local afetado, pode ser caracterizada de diversas formas, nomeadamente pela altura da água, nível máximo da água e profundidade da inundação. A altura ou nível da água (Figura 5) corresponde à diferença entre a altura da marca da água / inundação, num determinado local e momento, e o nível médio do mar aquando do tsunami (IOC, 2019). Para este conceito podem igualmente ser utilizados os termos “altura do tsunami” e “altura da inundação” (IOC, 2019). O nível máximo da água (Figura 5), como o próprio nome indica, corresponde à diferença entre a altura máxima da marca da água / inundação registada num determinado local e o nível médio do mar aquando do tsunami (IOC, 2019). A profundidade da inundação (Figura 5), por sua vez, diz respeito à altura do tsunami acima do solo num determinado local (IOC, 2019). Para os diversos indicadores, a marca de água que permite a estimativa do seu valor pode ser verificada, por exemplo, através de marcas em edifícios ou de “cicatrices de impacto” em árvores (IOC, 2019).

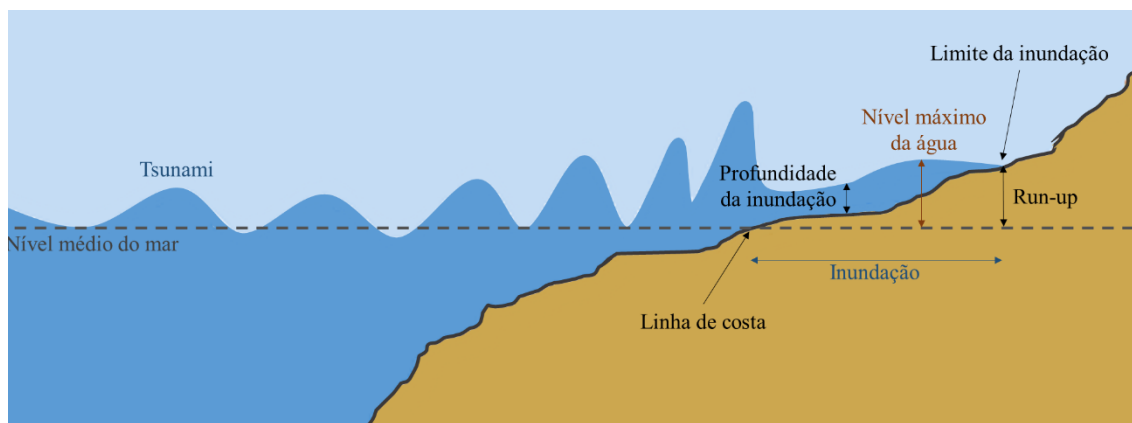


Figura 5: Esquema representativo da chegada do tsunami à linha de costa e ilustração de conceitos associados, com base em IOC (2019).

O termo inglês *run-up* (Figura 5) corresponde à diferença entre a altura do tsunami no local onde foi maior a sua penetração em terra, designado por limite da inundação (Figura 5), e o nível médio do mar aquando do tsunami (IOC, 2019). O *run-up* máximo é muitas vezes confundido com o nível máximo da água. Esta confusão surge porque quando o nível máximo da água é registado no limite da inundação o valor de ambos os indicadores é igual (IOC, 2019). Contudo, na maioria dos casos o mesmo não se verifica, uma vez que a marca da água é registada mais precocemente, nomeadamente em edifícios (IOC, 2019).

2.5. WebSIG: Definição e arquitetura

No início dos anos 90 do século passado, em paralelo com o desenvolvimento dos SIG, a Internet começa a tomar forma e apresentar um desenvolvimento acelerado, marcado pelo nascimento da World Wide Web (WWW) (Dragičević, 2004), que tem por base a linguagem HyperText Markup Language (HTML) e que suporta e é acedida através do protocolo HyperText Transfer Protocol (HTTP) (Peng, 1999). Os SIG, até esse momento presos a uma só máquina e a utilizadores experientes e com conhecimento especializado, veem na Internet uma oportunidade de expandir e potencializar a sua operacionalidade (Dragičević, 2004; Kraak, 2004). De início, os SIG apenas funcionavam num *software* instalado numa máquina sem ligação exterior, passando depois a apresentar a possibilidade de partilhar dados com outros utilizadores e *softwares* dentro de redes locais, até que a internet permitiu ir mais além (Peng, 1999). A internet, devido também à sua interface relativamente mais amigável (Peng, 1999), possibilitou que a partir desse momento, e cada vez mais, os SIG constituam ferramentas acessíveis a um maior leque de utilizadores (Kraak, 2004), muitos dos quais não ligados aos SIG e em diferentes máquinas através da Internet (Dragičević, 2004).

O primeiro WebSIG experimental surgiu em 1993 (Dragičević, 2004). Designado MapViewer e desenvolvido pela Xerox Corporation, procurava já permitir a visualização de informação espacial através da Internet (Dragičević, 2004). Em 1994, foi criado o primeiro repositório na Internet de dados georreferenciados, associado ao projeto *Alexandria Digital Library* (Dragičević, 2004). De acordo com Dragičević (2004), com o desenvolvimento das duas tecnologias, os SIG com operacionalização através da Internet passaram a apresentar mapas interativos com ferramentas adicionais para visualização (e.g. *zoom-in*, *zoom-out*, ativação de layers, transparência, deslocação, medição de distâncias, cálculo de áreas) e manipulação dos dados, deixando de constituir simples imagens estáticas, indo de encontro com as exigências dos utilizadores da Web (Kraak, 2004). A estas exigências juntou-se a necessidade de carregamento rápido dos conteúdos, o que se reflete no peso dos ficheiros (Kraak, 2004). Maior diversidade de funcionalidades nasceu quando estes começaram a conseguir interagir com diferentes servidores e sistemas (Dragičević, 2004), nomeadamente bases de dados. Quando esta interação é conseguida, uma simples modificação dos dados na base de dados, ou num dos outros servidores, nutre automaticamente efeitos no WebSIG (Kraak, 2004).

Hoje os WebSIG podem também surgir junto de conteúdos de outra natureza, inclusivamente sem carácter espacial, uma vez que a Internet inclui todo o tipo de informação (Kraak, 2004). Conteúdo georreferenciado de mapas pode apresentar ligações a conteúdo diverso, nomeadamente texto, fotografias ou animações que estejam armazenados nos mais diversos lugares da Internet (Kraak, 2004). Um WebSIG pode ter diferentes objetivo e aspeto, podendo constituir apenas uma ferramenta de consulta / pesquisa com repercussões gráficas num mapa interativo; um mapa interativo de apresentação de dados ativáveis / desativáveis; o objeto com ligação a conteúdo diferenciado (Kraak, 2004). Um qualquer utilizador da Internet pode já, há mais de duas décadas, visualizar informação espacial e padrões espaciais e fazer operações de consulta e pesquisa de dados espaciais onde quer que se encontre (Peng, 1999). Como ressaltam Alesheikh *et al.* (2002), o WebSIG é uma forma mais fácil e com menores custos de aceder a informações geoespaciais. Todavia, embora os WebSIG possam em teoria apresentar as funcionalidades de um *desktop GIS* com a possibilidade adicional de estar completamente integrado em rede e disponível em diversos tipos de dispositivos, o mesmo não tende a suceder. É necessário, primeiramente, recorrer às funções de modelação e análise disponíveis num *desktop GIS*, sendo posteriormente os seus *outputs* transferidos para ambiente WebSIG.

A este tipo de ambiente SIG é atualmente designado de WebSIG: ferramentas SIG que tem por base e se tornam operacionalizáveis e em rede através da WWW. Constitui, portanto, uma otimização do SIG “tradicional” (Qu, Ye, & Liu, 2002). Um WebSIG “utiliza a World Wide Web como um cliente” (Peng, 1999), sendo através dela que o utilizador final tem acesso aos seus conteúdos. Para o seu funcionamento é necessário um servidor Web, que permita ao

utilizador interagir com os dados espaciais e produzir mapas (Alesheikh *et al.*, 2002). Este sistema permite que outros utilizadores, noutras localizações e noutros momentos, possam visualizar e, se autorizado, interagir com os mapas produzidos pelo primeiro utilizador, que estando na Internet estão sempre atualizados (Alesheikh *et al.*, 2002).

Os WebSIG levantaram a necessidade de novos mecanismos e formatos standards que acabam por potencializar as suas capacidades e expandir o acesso a dados espaciais (Dragičević, 2004) por diferentes utilizadores e plataformas, nomeadamente os propostos por Peng & Zhang (2003, citado por Dragičević, 2004):

- **Web Feature Service (WFS):** “mecanismo que potencializa o acesso e a obtenção de dados espaciais” (Dragičević, 2004);
- **Geography Markup Language (GML):** linguagem / código que “permite a troca de dados geoespaciais” e tem por base a linguagem XML (eXtensible Markup Language) (Kraak, 2004);
- **Scalable Vector Graphics (SVG):** que procura “melhorar a qualidade da apresentação dos dados” espaciais na Internet (Dragičević, 2004), contribuindo para o seu aspeto final (Kraak, 2004). Permite a visualização de ficheiros em GML, inclusive através da sua apresentação em motores de pesquisa na Internet (Kraak, 2004).

Estes constituem algumas das especificações mais relevantes no âmbito dos WebSIG, do Open Geospatial Consortium (OGC), instituição internacional responsável pela implementação de normas padrão relativas aos SIG e aos seus conteúdos. Os WebSIG permitem também alcançar interoperabilidade (Qu *et al.*, 2002) permitindo que, sobretudo através destas normas standard, os dados espaciais de diferentes fontes possam ser acedidos e transferidos entre as várias partes do sistema WebSIG e aplicações que o constituem. Devido à crescente importância dos WebSIG, diferentes instituições com importância no mundo dos SIG têm vindo a desenvolver os seus WebSIG (Qu *et al.*, 2002).

Em suma, os WebSIG são ferramentas com uma ampla área de aplicações, que podem ser úteis nomeadamente para tomadas de decisão ao nível do planeamento dos territórios com base em dados espaciais (Dragičević & Balram, 2004), envolvendo e permitindo a participação de forma inovadora de diferentes indivíduos, não apenas utilizadores especialistas e entidades competentes. Os WebSIG apresentam também forte potencial na modelação, na análise e na consulta de dados, na diversidade de plataformas e na inclusão de informação tridimensional (Dragičević, 2004). Tal como Dragičević (2004) sugere, os WebSIG constituem uma “ferramenta de comunicação visual”, permitindo que diferentes utilizadores em diferentes locais e em diferentes momentos possam participar e aceder a um mesmo mapa interativo.

Um WebSIG apresenta, geralmente, uma arquitetura organizada por 3 camadas do tipo cliente / servidor, sendo o “cliente” correspondente a um *browser* (ou a uma aplicação) e o “servidor” a um conjunto composto por Servidor Web, Servidor de Mapas, *software* SIG (*desktop GIS*) e uma base de dados geográfica (Alesheikh *et al.*, 2002) (Figura 6).

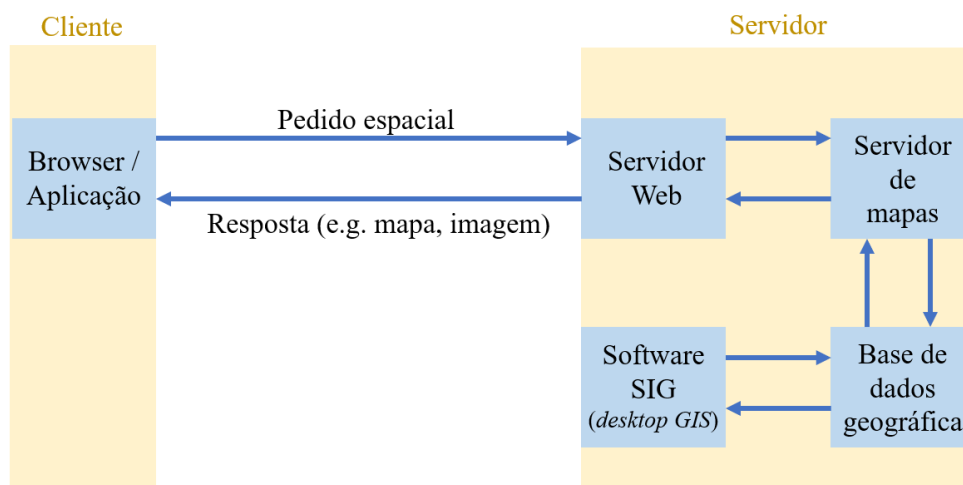


Figura 6: Arquitetura típica de um WebSIG, tendo por base Alesheikh *et al.* (2002).

A aplicação a que o utilizador final tem acesso (i.e. o *Web Browser* ou uma aplicação *framework*) possui uma interface interativa. Através desta, o utilizador final faz um pedido a que o Servidor de Mapas responde com um mapa ou texto que é exibido nessa mesma interface (Qu *et al.*, 2002). O Servidor Web faz a gestão dos pedidos realizados no *browser* ou na aplicação usada pelo utilizador final, respondendo a estes com o mapa e os dados espaciais requeridos pelo mesmo (Alesheikh *et al.*, 2002). O Servidor de Mapas, por sua vez, permite que os dados espaciais disponíveis em bases de dados geográficas possam estar acessíveis ao utilizador final através da World Wide Web, mais concretamente num *browser* (Alesheikh *et al.*, 2002). Requer dois componentes: um mecanismo de processamento dos dados espaciais (e.g. API do Servidor Web, Common Gateway Interface (CGI)) e um Servidor Web. Com determinados plug-in (facilmente ativáveis pelo utilizador nos novos WebSIG) pode permite várias funções de interação com os dados (e.g. zoom, download, buffers, consultas, configuração) (Alesheikh *et al.*, 2002). Este constitui o servidor que recebe os dados espaciais previamente processados no *software desktop GIS*. Estes dados, por vezes, são numa fase intermédia integrados numa base de dados geográfica, estando esta depois ligada a um Servidor de Mapas.

2.5.1. WebSIG para cartografia histórica em Lisboa

Pires *et al.* (2016) procurou, com base em cartografia histórica, reconstituir o Aqueduto das Águas Livres e construir uma aplicação com Realidade Aumentada do mesmo. Surge também o Projeto Lx Conventos, elaborado por Gouveia *et al.* (2015), que incidiu na criação de um WebSIG que inclui cartografia histórica disponibilizada pela Câmara Municipal de Lisboa, informação georreferenciada relativa a casas religiosas localizadas na cidade de Lisboa e representações 3D de alguns dos edifícios. Em todo o caso, não foi ainda produzida uma base de dados geográfica e um WebSIG do evento de 1755 com base em cartografia histórica.

3. Metodologia

3.1. Relatos históricos na zona de estudo

De forma a perceber o impacto que o tsunami teve a nível local na área de estudo foram analisados e compilados dados históricos de diferentes fontes, nomeadamente Sousa (1928). Estes dados históricos constituem sobretudo relatos históricos (Santos & Koshimura, 2015c; Sousa, 1928).

A principal fonte na identificação do edificado foi o trabalho realizado pelos investigadores do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). Além de Sousa (1928), referido atrás, outras fontes foram utilizadas, em especial respeitantes ao tsunami, nomeadamente: Proença (1991) onde são identificados, localizados e caracterizados diversos edifícios da área de estudo e a sua condição após o evento; Vieira da Silva (1987a, 1987b, 1987c, 1987d) nos quais são identificados diversos edifícios da área de estudo, a sua condição após o evento, bem como o estado em que terão ficado as muralhas que aí se encontravam e a sua importância no impacto do tsunami; e Barros (2016) onde é feita referência aos Palácios dos Condes de Angeja e dos Condes de Vila Flor e respetiva localização e caracterização.

Além de dados relativos ao edificado e ao impacto dos três fenómenos no mesmo, foram também compilados dados respeitantes aos censos, antes e depois do evento, tendo por base Sousa (1928) e Santos & Koshimura (2015c).

3.2. Cartografia e iconografia histórica e dados arqueológicos

Inicialmente, à semelhança do que fizeram (Umbelino *et al.*, 2009), procedeu-se à procura e consulta de cartografia histórica que permitisse a modelação de um evento histórico, embora neste caso relativa à região de Lisboa, em particular respeitante à barra e à cidade de Lisboa e temporalmente próxima da ocorrência do evento. Assim, para a modelação do tsunami de 1755 na zona ribeirinha da cidade de Lisboa, foram analisadas e trabalhadas três cartas históricas fornecidas pelo Museu da Marinha relativas ao séc. XIX. Foram, de igual modo, revistos outros documentos com dados relativos ao evento e a locais ou pontos de referência existentes nas cartas contemporâneas ao sismo e subsistentes nos dias de hoje. Esta consulta bibliográfica é relevante na medida que permitiu obter a localização aproximada de vários pontos assinalados nas cartas. Foram assim selecionadas cartas somente relativas ao séc. XIX, dada a precisão associada à técnica aplicada (i.e. técnica de triangulação) face a cartas contemporâneas ao evento.

A primeira das cartas utilizadas, designada de *Entrada do Rio Tejo com o Porto de Lisboa* (*Entrance of the River Tagus with the Harbour of Lisbon*) e cuja informação compilada em 1879 resulta de pesquisas governamentais, é elaborada em Inglaterra e apresenta uma escala natural de 1:31 240 (Marinha Portuguesa, 1879). Efetivamente, embora tenham sido realizadas entretanto grandes obras cartográficas modernas hidrográficas por parte de cartógrafos portugueses, no final do séc. XIX são ainda utilizadas cartas inglesas quando as portuguesas não se encontravam disponíveis ou devidamente atualizadas (Dias & Botelho, 1998).

Esta carta apresenta informação relativa a duas docas governamentais e às docas privadas de Cacilhas, no que diz respeito ao seu comprimento, largura e profundidade; identificação e localização de boias e faróis, nomeadamente os faróis do Cabo Raso, da Guia, de Santa Marta, de S. Julião da Barra e Bugio; identifica as coordenadas do Farol do Forte de S. Julião da Barra, do Observatório da Marinha (antigo Ministério da Marinha) e da Cúpula do Observatório Real (no ISA, na Ajuda) (tendo em consideração o meridiano de Greenwich); as isobatimétricas estão apresentadas em pés tendo em conta o nível médio da água na maré alta; são identificados, igualmente, diversas povoações, relevo (assombreado), cursos de água, a Torre de Belém e a geometria urbana da cidade de Lisboa pós-sismo.

Em termos gerais, esta carta apresenta grande relevância para este estudo, na medida que apresenta grande detalhe batimétrico e da linha de costa e corresponde à carta que representa maior porção territorial com esta informação de entre as fornecidas pelo Museu da Marinha, representando a foz do Tejo e a linha de Costa marítima desde o Cabo da Roca até à Lagoa de Albufeira, aproximadamente, bem como o Estuário do Tejo até próximo do Montijo.

A segunda carta, editada cerca de 15 anos mais tarde que a publicação da anterior, apresenta a designação *Plano Hidrográfico da Barra do Porto de Lisboa* (*Plano Hydrographico da Barra do Porto de Lisboa*) (Marinha Portuguesa, 1893). Desenhada e gravada por engenheiros hidrógrafos da Repartição Hidrográfica do Conselho do Almirantado em 1857, esta carta corresponde não apenas à primeira gravada em pedra por J. Lewicki, anteriormente referido, como também foi litografada no Depósito Hidrográfico sob a direção de Filipe Folque (Dias & Botelho, 1998). A primeira publicação desta carta em 1857, a preto e branco, pelos serviços geodésicos e topográficos, marca assim “o início da moderna Cartografia náutica”, quando Filipe Folque tomou as rédeas dos serviços hidrográficos (Dias & Botelho, 1998). Esta carta corresponde a uma nova edição da mesma, com uma nova sondagem e retificação realizada de ambas as margens do rio, entre Belém e Porto Salvo, em 1893, quando os serviços de trabalhos geodésicos estavam já separados dos serviços hidrográficos, e apresenta uma escala 1:20 000 e uma dimensão de 79 x 104 cm (Dias & Botelho, 1998). Esta não corresponde, porém, à única retificação da mesma (Dias & Botelho, 1998). Uma década e meia antes, em 1879, a margem

sul da carta teria sido retificada pela primeira vez pelos engenheiros hidrógrafos da Direcção-Geral dos Trabalhos Geodésicos, Topográficos, Hidrográficos e Geológicos do Reino e por outros oficiais, igualmente a uma escala de 1:20 000 (Dias & Botelho, 1998). Essa segunda edição corresponde à terceira carta fornecida pelo Museu da Marinha.

Levamentos para o mesmo foram realizados, atravessando grandes dificuldades, à escala de 1:10 000 pelos Tenentes da Armada F. M. Pereira da Silva, Caetano Maria Batalha e C. F. B. de Vasconcellos entre os anos de 1842 e 1849 (Dias & Botelho, 1998). Embora com o objetivo inicial de retificar o plano do porto de Lisboa elaborado sensivelmente 30 anos antes por Marino Miguel Franzini, considerado pai da Cartografia Moderna náutica, estes cartógrafos da armada acabaram por elaborar um novo levantamento de maior precisão e abandonar este objetivo (Dias & Botelho, 1998).

Apresenta a localização e descrição de diversos faróis próximos ou no enfiamento da Barra do Porto de Lisboa, nomeadamente o Farol da Guia, o Farolim de Caxias, o Farolim de Santa Marta, o Farol do Bugio e o Farol de S. Julião da Barra, só incluídos após retificações da carta (Dias & Botelho, 1998), a partir de 1879. Apresenta ainda as coordenadas dos mesmos, tendo os valores apresentados de longitude como referência a localização do Observatório do Castelo de Lisboa (aproximadamente no centro da colina do Castelo de S. Jorge). Este último, todavia, apresenta uma coordenada relativa à longitude que faz referência ao meridiano de Greenwich. Estão neste plano igualmente representados diversos cursos de água, igrejas / capelas e povoações, localizadas aproximadamente entre a Torre de Belém e a atual Vila de Cascais e tendo como limite sul a atual cidade da Costa da Caparica, na margem sul da Barra, bem como o relevo através de sombreado. Este plano apresenta resultados que correspondem a 1,95 metros abaixo do nível do médio do mar em Cascais, de acordo com o que é referido no mesmo, influenciando possivelmente os valores da batimetria.

Assim, esta segunda carta apresenta grande detalhe da batimetria e ao nível da linha de costa, à semelhança da anterior, embora esta represente uma menor porção territorial, não sendo representada, por exemplo, a cidade de Lisboa e a batimetria do Tejo nas suas proximidades. Serve então de complemento e para cruzamento com a segunda carta apresentada.

Estas três cartas demonstram, entre outros aspetos, o forte contributo da cartografia militar para a divulgação e memória do território nos últimos séculos (Dias, 2001). Em todo caso, é visível nas duas cartas georreferenciadas que a configuração do país começa a apresentar-se correta e a estabiliza-se na generalidade das suas representações a partir de meados do séc. XIX (Dias, 2003a).

Entre as várias cartas existe sempre uma grande diferenciação ao nível da forma e dimensão das línguas e bancos de areia e mouchões, nomeadamente na ligação entre o Bugio e a margem sul

da foz do Tejo. Estas são, todavia, como refere Dias (2010), acumulações de sedimentos que apresentam alguma variação, embora não muito significativa até ao séc. XX, fruto das marés ao longo dos anos e, inclusivamente, por situações de cheia ou de estiagem, pelo que se optou por um compromisso entre as várias cartas no que respeita a este aspeto.

Independentemente dessa condição, muitos séculos antes do evento de 1755 já o Tejo apresentava um setor jusante constituído por um vale muito aberto, em particular na margem esquerda, sucedido por um vasto estuário, caracterizado pelas colinas da cidade de Lisboa na sua margem direita, que termina num vale relativamente fechado junto à foz (Dias, 2010). Antes de chegar à foz, segundo Dias (2010), no canal estreito final do rio circundado por fortificações, este apresenta maiores profundidades junto da margem sul. A foz do Tejo, disposta aproximadamente entre a ponta da Trafaria na margem sul e o Forte de S. Julião na margem norte e o Forte do Bugio ao centro, sempre foi caracterizada pela existência de dois bancos de areia que se estendem em direção sudoeste, tradicionalmente designados por Cachopo do Norte e Cachopo do Sul, e que dividem a foz em duas: a barra pequena e a barra grande (Dias, 2010). Devido à sua relativamente pequena profundidade, o canal limitado pelo Bugio e pela Trafaria era sobretudo atravessado por barcos de menores dimensões (Dias, 2010).

No que respeita à cidade de Lisboa no séc. XVIII, em especial à zona baixa da cidade, a mesma apresentava uma malha urbana muito distinta da que foi posteriormente mandada edificar por Marquês de Pombal e cujo plano selecionado é da autoria de Eugénio dos Santos Carvalho e Carlos Mardel. Por outro lado, como já foi referido anteriormente (Figura 4, Cap. 2.1), os limites das freguesias têm sofrido alterações significativas. Assim, foi necessário compilar as plantas das freguesias de Lisboa do séc. XVIII (Monteiro de Carvalho, n.d.).

Tendo em vista a área de estudo, foram georreferenciadas as plantas referentes às freguesias de São Paulo, São Julião, Madalena (ou Santa Maria Madalena), Sé (ou Santa Maria Maior), São João da Praça e São Miguel (Monteiro de Carvalho, n.d.). Porém, os seus limites não correspondiam exatamente aos limites da cidade histórica, não incluindo alguns dos terreiros junto ao rio onde não existiam edifícios.

Por outro lado, as diversas iconografias, propriedade do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) forneceram mais indicações relativamente ao estado de alguns dos edifícios da zona de estudo.

Para a verificação das plantas georreferenciadas da cidade relativas ao séc. XVIII e confirmação das designações e da localização de alguns dos edifícios e das partes das Cercas Moura e Fernandina existentes aquando do sismo, foi igualmente relevante uma planta da cidade anterior ao sismo (“[Planta de Lisboa anterior ao Terramoto]”, 1800). Tal como a planta anterior, foi possível confirmar a existência, localização e designação de diferentes edifícios da área de estudo, bem como confirmar a planta da cidade anterior a evento.

A planta da cidade anterior ao sismo considerada nesta dissertação e base do modelo numérico do tsunami foi trabalhada desde 2005 por Carlos Loureiro do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) em Autocad, tendo por base diversas fontes, nomeadamente Ribeiro (1949).

Para a vetorização da planta da cidade de Lisboa anterior ao evento foram igualmente tidos em consideração dados arqueológicos atualizados e a si respeitantes (Bettencourt *et al.*, 2017; Blot & Henriques, 2004; Macedo & Sarrazola, 2012; Macedo *et al.*, 2017; Santos, 2006). Os dados arqueológicos, em conjugação com dados atuais, foram também importantes na identificação e definição da altimetria da área de estudo anterior ao evento.

3.3. Trabalho de campo

Trabalho de campo foi realizado por duas ocasiões, nos dias 9 e 12 de maio de 2019, por diversos pontos da área de estudo com o objetivo de localizar as igrejas, os palácios e outros edifícios identificados pela cartografia e por informação históricas. Pretendeu-se ainda obter informações e fotografias do seu aspeto exterior atual ou das estruturas que hoje ocupam o seu lugar. Foi realizado igualmente levantamento com recurso a um Global Position System (GPS), que permitisse a posterior georreferenciação da posição de captação das fotografias. O trabalho de campo permitiu avaliar, em grande medida, quais destes edifícios históricos ou estruturas estão ainda hoje presentes na malha urbana da cidade e quais foram, entretanto, reconstruídos, mudaram de designação, de função ou de localização.

Durante o levantamento GPS foram registados 43 pares de coordenadas com sistema de referência Hayford-Gauss Datum 73. O levantamento foi realizado com uma antena localizada a 2 metros acima do nível do solo e com recurso ao modelo GPS Trimble General Survey 2.22.

Devido à densidade e altura dos edifícios em diversos dos locais onde foi realizado o levantamento, apenas foi possível recorrer em média a 6,6 satélites por ponto, levando a uma baixa precisão, caracterizada por um erro horizontal e um erro vertical médio de 1,9 e 2,3 metros, respetivamente.

3.4. Modelação tridimensional do Terreiro do Paço

Para apoio à modelação numérica do tsunami de 1755 em zona ribeirinha de Lisboa procurou-se desenvolver um modelo tridimensional da área de estudo, tal como mencionado anteriormente. O modelo tridimensional do Terreiro do Paço realizado por outros autores (Gago da Câmara *et al.*, 2012; Murteira & Rodrigues, 2016; Murteira *et al.*, 2017) fornece uma representação com

grande qualidade do Terreiro do Paço. No entanto, carece de outros edifícios pertencentes à zona de estudo.

Além de exigir conhecimentos da linguagem C#, a construção de um modelo semelhante ao elaborado por Gago da Câmara *et al.* (2012), Murteira & Rodrigues (2016) e Murteira *et al.* (2017) para toda a área de estudo seria muito dispendioso em tempo, não sendo possível o seu desenvolvimento em tempo útil para esta dissertação. A estes obstáculos acrescenta-se ainda a impossibilidade de incluir em ambiente SIG o *output* do modelo.

Este último obstáculo deixa de ser um problema quando utilizada a aplicação CityEngine da ESRI. Este *software*, criado com o objetivo de construir digitalmente cidades tridimensionais possíveis de integrar em ambiente SIG, permite chegar a um rigor e uma qualidade semelhantes ao modelo anterior, elaborado através do OpenSimulator, num menor espaço de tempo. Permite também personalizar a textura das fachadas dos edifícios. Contudo, requer não apenas uma memória RAM de 16 GB e outras especificações de hardware, como também possui licença paga para utilização. A estas dificuldades acrescenta-se a necessidade que o utilizador tem de possuir conhecimentos em Computer Generated Architecture (CGA), uma linguagem com o intuito de gerar e detalhar edificado tridimensional, de modo a tirar o melhor proveito do *software*.

Existe ainda uma terceira solução para a modelação tridimensional da área de estudo: o *software* Pix4D. Este *software*, criado pela empresa com o mesmo nome fundada em 2011 e com sede em Prilly, na Suíça, permite que através de fotografias tiradas através de aviões, drones ou mesmo no solo possam ser produzidas nuvens de pontos e malhas tridimensionais dos objetos ou territórios representados. Pode, igualmente, reproduzir ortomosaicos bidimensionais, modelos digitais do terreno e outros tipos de ficheiros possíveis de introduzir em ambiente SIG. Este processo torna-se mais simples e eficiente a partir do momento em que as fotografias recolhidas têm a si associadas determinadas coordenadas que são tidas em conta no projeto desde o início, permitindo a georreferenciação dos anteriores outputs. Os projetos produzidos pelo *software* são, geralmente, muito exigentes do ponto de vista do processamento, em especial quando um maior volume de informação é utilizado como *input*. Além disso, a sua qualidade tende a ser inferior mesmo com edição, bem como a produção de resultados torna-se dispendiosa do ponto de vista do tempo de processamento e de custo da licença de utilização. Apesar disso, em comparação com as aplicações anteriormente apresentadas, esta solução apresenta uma velocidade de processamento e execução praticável para o tempo disponível para a elaboração de dissertação de mestrado; nunca fora utilizada (nem a maquete do Museu de Lisboa) para a reconstrução da zona ribeirinha da cidade de Lisboa pré-evento; produz *outputs* possíveis de introduzir em ambiente SIG; e o Instituto de Geografia e Ordenamento do

Território possui licença para a utilização da mesma. Por estas razões, para a criação do modelo tridimensional da área de estudo pré-tsunami foi utilizado o *software* de modelação tridimensional Pix4D.

O alvo da modelação, no caso da presente dissertação, constitui uma maquete construída nos anos 50 do século passado que representa a cidade de Lisboa antes do evento e está em exibição para os visitantes do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). No sentido de representar tridimensionalmente e digitalmente a área de estudo, e em especial o Terreiro do Paço pré-sismo (Figura 7), foram tiradas 1573 fotografias da maquete ilustrativas de diferentes perspetivas e *zooms* da zona ribeirinha da cidade. O levantamento decorreu a 17 de setembro de 2018.

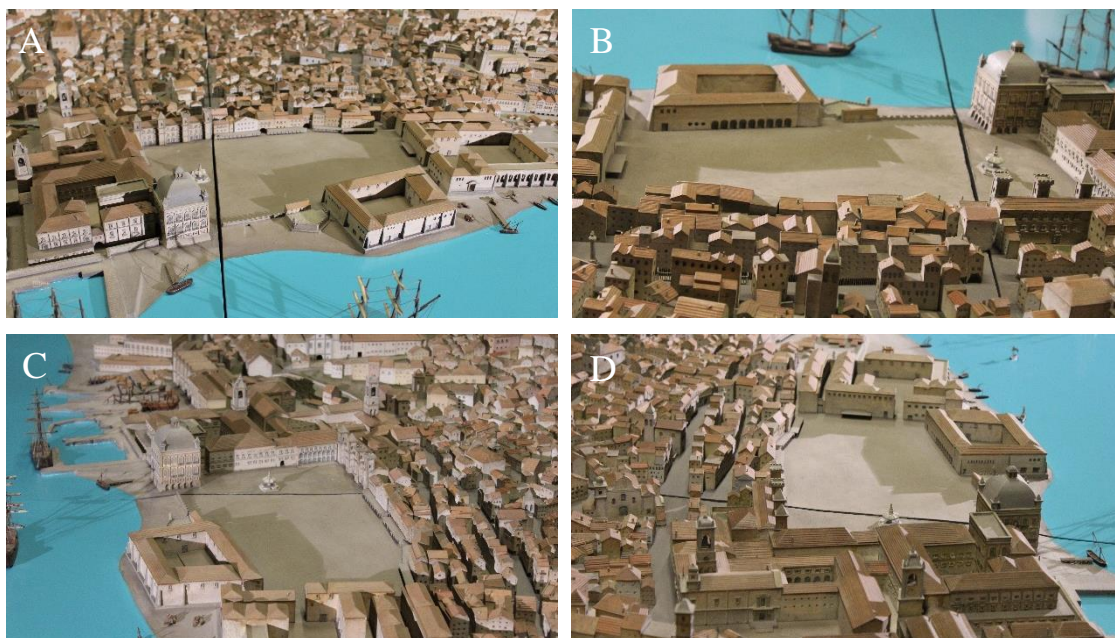


Figura 7: Diferentes perspetivas do Terreiro do Paço obtidas do levantamento fotográfico da maquete de Lisboa antes do sismo do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta): perspetiva sul (A), norte (B), este (C) e oeste (D). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.

Esta maquete encontra-se subdividida em diferentes módulos possíveis de serem movidos. As fotografias foram, assim, recolhidas com recurso à movimentação das diferentes superfícies da maquete (Figura 8) para a obtenção de fotografias com maior qualidade e detalhe dos edifícios, e sem posição GPS. As fotografias foram captadas a partir de uma máquina fotográfica Canon EOS 1300D, com uma objetiva de 18-55 mm com estabilizador. No momento de recolha das fotografias a sala do museu onde a maquete está localizada foi iluminada por um único holofote localizado à esquerda da maquete. Este holofote tinha como objetivo dar a ideia de que a maquete correspondia à verdadeira cidade de Lisboa pré-evento, no período de início da manhã,

fornecendo ao modelo, posteriormente, um aspeto mais realista. Todo o procedimento de modelação foi executado num computador com sistema operativo Windows 10, processador Inter® Core™ i7-6700K CPU (4.00GHz) e 32 GB de memória RAM, disponível no GEOMODLAB do IGOT.



Figura 8: Módulos que constituem a maquete do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.

O maior foco no Terreiro do Paço justifica-se não apenas por este constituir o centro da área de estudo e um dos locais mais afetados pelo tsunami de 1755 na cidade de Lisboa, como também pela dificuldade em construir um modelo tridimensional com qualidade relativo a toda a área de estudo. Efetivamente, a proximidade e as sombras definidas entre os vários edifícios na maquete e a escassez de material fotográfico, que permita uma maior resolução e estabilização, e de *softwares* que corrijam estas falhas, tornam difícil a tarefa de representação da cidade na sua totalidade. Além das fotografias referentes ao Terreiro do Paço, que constituem um total de 711, foram igualmente obtidas outras 862 respeitantes a outros pontos da cidade histórica, com especial foco na área de estudo e nos edifícios que aí se localizam (Figura 9).



Figura 9: Levantamento fotográfico de alguns dos edifícios / estruturas objeto de estudo presentes na maquete de Lisboa antes do sismo, do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta): Forte de S. Paulo (#L); Forte da Vedoria (#B); Alfândega do Tabaco (#C); Igreja de S. Paulo (#1); Igreja de Sto. António da Sé (#8); Basílica de Sta. Maria Maior ou Igreja da Sé (#9); Igreja da Madalena (#5); Igreja Patriarcal (#2); Terreiro do Trigo (#E); Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D); Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia (#7); Casa da Ópera (#N); Ribeira das Naus (#P2); Palácio do Conde de Aveiro (#G); Palácio do Marquês de Távora (#H); Palácio do Conde de Coculim (#I); Igreja de S. João da Praça (#15); Palácio dos Corte Real (#M); Igreja do Convento dos Dominicanos Irlandeses (#12); Ermida de N. S.^a da Graça (#13); Igreja das Chagas (#11); Palácio do Marquês de Angeja (#K); Palácio do Conde de Vila-Flor (#J); Igreja de S. Miguel (#10). Fotografias tiradas a 17 de setembro de 2018.

Para a criação do modelo 3D foi utilizado o *template* 3D Models, um dos *templates* de definição das condições e opções de processamento sugerido previamente pelo *software*. Este *template* foi escolhido por ser o recomendado para a modelação de objetos cujas fotografias são recolhidas por via terrestre, oferecendo uma qualidade relativamente elevada com uma velocidade de processamento média. Apesar disso, as definições pré-estabelecidas foram alteradas numa tentativa de melhorar a qualidade do *output* e alterar os formatos obtidos, apesar da perda em velocidade de processamento.

O *software* permitiu a criação de uma nuvem de pontos e, consequentemente, de um modelo tridimensional da parte central da área de estudo. Provavelmente devido à escassez de fotografias das extremidades da maquete, resultando numa baixa densidade na nuvem de pontos local e em “buracos” na mesma, ou porque uma das extremidades da maquete corresponde ao extremo este da área de estudo, o modelo 3D apresentou uma qualidade muito baixa nessa área. Além da malha tridimensional foram também produzidos um ortomosaico e um modelo digital do terreno da área de estudo. No entanto, porque dizem respeito a uma maquete e não a um território real, ambos tiveram de ser alvo de um processo de georreferenciação posterior. Por esta razão, embora o modelo digital do terreno posteriormente georreferenciado permita visualizar e distinguir os terrenos e edifícios mais elevados na área modelada, não permite que os valores registados sejam verdadeiros. Como as fotografias recolhidas apresentam informação exterior à área de estudo uma área superior a esta foi modelada, embora com menor qualidade dada a menor sobreposição de fotografias e o menor cruzamento entre iguais pontos detetados em diferentes imagens.

Após o processamento do projeto, o *software* disponibiliza ferramentas para a edição e a correção do mesmo. Nas zonas da maquete onde a densidade de edifícios é superior, a qualidade do modelo é inferior e os detalhes e limites dos edifícios são difíceis de definir ou mesmo impercetíveis. O mesmo sucede nos pontos do modelo cuja sobreposição de fotografias é menor, à semelhança do referido anteriormente; nos locais da maquete com sombras, tanto em resultado da proximidade entre os edifícios como decorrente da iluminação da sala aquando da captação das fotografias; ou mesmo nos locais junto do centro dos módulos móveis da maquete, onde a captação de fotografias com qualidade e proximidade aos objetos foi mais difícil. As fotografias tiradas do lado do rio (sul) apresentam melhor qualidade que as fotografias tiradas do lado oposto (norte): a câmara conseguia estar mais perto dos objetos fotografados do lado do rio onde, com exceção dos barcos, não havia obstáculos e objetos que produzissem sombra; a maior proximidade da câmara aos objetos do lado norte e a possibilidade de tirar fotografias desse lado em diferentes perspetivas resulta da disposição e localização dos objetos pelos módulos; a iluminação permite maior perceção dos objetos do lado do rio e menor do objeto com orientação oposta; e existem edifícios muito próximos entre si do lado norte.

Desta forma, foi necessário recorrer ao *software* também para a edição do modelo, nomeadamente através da eliminação de pontos da nuvem de pontos que levavam à indefinição dos limites dos edifícios e das estruturas, ou à formação de ruído no modelo. Foram realizadas diversas tentativas de forma a obter o melhor resultado para as fotografias recolhidas.

Infelizmente, o *software* não permite correções mais eficazes em caso de ausência de fotografias de *input* do local dessas imperfeições. O *software* não disponibiliza opções de edição de permitam alterar a cor de pontos, nomeadamente modificando a cor dos telhados. Não permite igual adicionar polígonos com cor personalizada pelo utilizador, que possibilitem a edição do modelo e o preenchimento de espaços vazios em locais onde não existam fotografias com conteúdo que verdadeiramente os preencha.

Depois de editado o modelo obtido, parte do projeto é reprocessado para incluir as modificações realizadas e excluir os pontos eliminados.

3.5. Construção do Modelo Digital de Terreno da zona de estudo

3.5.1. Georreferenciação

Para a elaboração do Modelo Digital de Terreno, *input* fundamental do modelo numérico do tsunami de 1755 na zona ribeirinha de Lisboa (Santos *et al.*, 2019), foi necessário, primeiramente, proceder à georreferenciação de cartas históricas que fornecessem informação relativa à batimetria e à altimetria locais aquando do evento. Recorrendo ao *software* SIG ArcMap 10.6.1 da ESRI, procurou-se georreferenciar as cartas históricas que podiam responder a esta necessidade.

Foram utilizados como pontos de controlo os faróis existentes aquando da elaboração das cartas e sobreviventes nos dias de hoje; diferentes pontos identificáveis em cada carta como igrejas, capelas, centros de vilas e observatórios; e vértices geodésicos assinalados. Para identificar as diferentes povoações ou vilas assinaladas nas cartas foram utilizados como local de referência o centroide sugerido pelo Google Earth ou, em alguns casos, o centro aproximado da zona antiga das mesmas. No que respeita aos observatórios, foram utilizados como pontos de controlo o atual vértice geodésico “Lisboa”, local que corresponderia aproximadamente ao Observatório do Castelo de S. Jorge, o primeiro observatório astronómico de Lisboa demolido em 1938; o local aproximado do Observatório da Marinha, no Arsenal da Marinha, tendo por base fotografias antigas disponibilizadas pela Câmara Municipal de Lisboa e imagens de satélite do Google Earth; e a localização aproximada da cúpula do Observatório Real, atual Observatório Astronómico de Lisboa, localizado na Tapada da Ajuda dentro do recinto do Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade de Lisboa.

No caso da Carta 1 (Marinha Portuguesa, 1879), foram utilizados como pontos de controlo os locais aproximados do Farol do Cabo Raso, da “ponta” de Cacilhas e do Farol do Bugio, seguindo a referida ordem (Tabela 3). Após a georreferenciação vários pontos da carta foram analisados, tendo sido concluído que a distância entre esses pontos na carta e na realidade foi sempre inferior a 200 metros, nomeadamente a distância entre os pontos referentes ao centro do Forte de S. Julião e à Cidadela de Cascais. O RMS obtido pelo software foi 2,76E-14, em graus decimais, o que corresponde a aproximadamente zero metros.

Tabela 3: Pontos de controlo utilizados para a georreferenciação da Carta 1 (Marinha Portuguesa, 1879) e respetivas coordenadas em graus decimais (WGS 84), ordenados por ordem de seleção.

Designação	Latitude	Longitude
1 - Farol do Cabo Raso	-9,48579	38,709503
2 - Cacilhas	-9,146536	38,687572
3 - Farol do Bugio	-9,298882	38,660495

Bons resultados foram igualmente obtidos após a georreferenciação da Carta 2 (Marinha Portuguesa, 1893). Neste caso, procedeu-se à georreferenciação da terceira edição da carta por se encontrar mais atualizada que as anteriores e por apresentar maior densidade de valores de batimetria que a edição de 1879. Neste caso, a georreferenciação foi realizada recorrendo a cinco pontos de controlo (Tabela 4) pela ordem de seguida apresentada: centro do Forte da Cidadela de Cascais, local aproximado do Farol do Bugio, local aproximado do Farol do Forte de S. Julião (correspondente sensivelmente ao centro do Forte), centro da Torre de Belém e vértice geodésico da Chibata. O RMS obtido pelo software foi 5,83E-04, em graus decimais, o que corresponde a 64,83 metros.

Tabela 4: Pontos de controlo utilizados para a georreferenciação da Carta 2 (Marinha Portuguesa, 1893) e respetivas coordenadas em graus decimais (WGS 84), ordenados por ordem de seleção.

Designação	Latitude	Longitude
1 - Centro do Forte da Cidadela de Cascais	-9,419366	38,693866
2 - Farol do Bugio	-9,298882	38,660495
3 - Farol do Forte de S. Julião	-9,32528	38,674523
4 - Torre de Belém	-9,215925	38,691563
5 - Vértice geodésico da Chibata	-9,218433	38,644009

Posteriormente à georreferenciação das cartas que permitiriam obter a batimetria e a linha de costa da região de Lisboa aquando do evento para a modelação do tsunami – que fora apenas possível com cartas do séc. XIX como referido anteriormente –, procedeu-se à georreferenciação das cartas e plantas que apresentam informação relativa às freguesias históricas da área de estudo e respetiva malha urbana. Inicialmente foram georreferenciadas as seis plantas relativas às freguesias da área estudo, tendo sido utilizados entre 39 e 122 pontos de controlo, com o objetivo de minimizar o erro. No que respeita às diferentes plantas, os diversos pontos de controlo utilizados correspondem a alguns dos vértices dos polígonos correspondentes aos edifícios da cidade no séc. XVIII.

As plantas das freguesias, embora apresentem uma malha urbana ligeiramente mais recente que o evento (1756-1768), evidenciando já algumas das estruturas construídas durante a recuperação da cidade, evidenciam algumas semelhanças que permitiram a sua georreferenciação.

Para as 8 cartas não foi possível utilizar como pontos de controlo os cantos das mesmas, porque não são identificáveis as coordenadas a que dizem respeito. Todavia, procurou-se trocar os pontos de controlo utilizados e a sua ordem para obter a combinação que permitisse uma georreferenciação mais próxima da realidade (isto é, cujo traçado e forma dos territórios se preserve mais realista) e com menor erro associado. Em qualquer uma das cartas, os locais que apresentam maior erro e/ou discrepância relativamente à representação real são as marinas e os terreiros, uma vez que não existiam no séc. XVIII e XIX ou apresentavam diferente configuração em resultado da maré ou do formato de acumulação. Todavia, na área de estudo, são pouco significativos os locais que apresentam este tipo de discordância.

Em todo o caso, mesmo tratando-se de cartas históricas, é necessário ter sempre em consideração a escala das mesmas quando se avalia se o erro de georreferenciação obtido é ou não aceitável. Segundo Longley *et al.* (2001), para uma escala de 1:20 000, como é a escala original da Carta 1 (Marinha Portuguesa, 1879), o erro admitido é de até 10 metros, supondo que existe uma precisão de até 0,5 mm nos objetos representados na carta. Contudo, porque esta é uma carta do séc. XIX, o erro pode ser relativizado, podendo ser admitido um erro de 51 metros. Um erro ligeiramente superior é admitido no caso da Carta 2 (Marinha Portuguesa, 1893) que apresenta uma escala original de 1:31 240. Porém, porque o erro foi extremamente baixo devido à utilização de poucos pontos de controlo, esta verificação torna-se desnecessária. Relativamente às plantas das freguesias do séc. XVIII não é possível avaliar esta dimensão, na medida que a escala original não é conhecida.

3.5.2. Vetorização

Assim, posteriormente ao processo de georreferenciação, procedeu-se à vetorização da batimetria através da criação de *shapefiles*.

Após a vetorização isolada da batimetria e altimetria de ambas as cartas, procedeu-se à união das informações (*Merge*) num único ficheiro, sendo criado um campo da tabela de atributos indicativo da carta de pertença de cada linha.

A informação batimétrica histórica compilada, juntamente com a definição da linha de costa contemporânea a esta constituíram a base cartográfica para o desenvolvimento do modelo numérico do tsunami na região de Lisboa, no estuário e na foz do Tejo.

No que respeito à base cartográfica do modelo na área de estudo, além da batimetria próxima da linha de costa, consta também a geometria urbana pré-evento (contorno dos edifícios), altura, altimetria local, desnível das rampas que descem para o rio e altura dos edifícios. Embora tenha entrado para o modelo apenas o detalhe dos edifícios ribeirinhos, foi vetorizada a malha urbana da cidade pré-evento relativa às 6 freguesias correspondentes à área de estudo, constante do WebSIG. A todos os edifícios foi atribuída uma altura, tendo por base a maquete do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). Em alguns casos, nomeadamente no que respeita às torres sineiras das igrejas, foi atribuído um valor distinto do corpo principal do edifício. Nestes casos o edifício fora subdividido em diferentes polígonos.

Relativamente à topografia ribeirinha foram atribuídas diferentes cotas tendo em consideração orientações fornecidas pela equipa de historiadores do Museu de Lisboa: altitude de aproximadamente 3 metros junto ao Terreiro do Paço, descendo até cerca de 2,5 metros junto ao Forte de S. Paulo (#L), onde agora se encontra aproximadamente o Cais do Sodré, e de 2,75 metros no Terreiro do Trigo, próximo da Casa dos Bicos (#F). Em cada local, ao valor da altitude foi somada à altura do edifício aí localizado, no caso dos locais com edifícios. Para representar o declive e as diferentes cotas da cidade foram criados polígonos relativos a cada cota, com valores distintos na ordem das décimas: a título de exemplo, um polígono associado à cota de 3 metros foi colocado ao lado de outro de 2,9 metros até chegar a um de 2,5 metros na zona do Forte de S. Paulo (#L). Os polígonos foram, posteriormente, convertidos para formato linear, para poderem ser considerados no Modelo digital de Terreno. Para tal foi utilizada a ferramenta *Feature To Raster*, de forma a preservar os atributos de cada elemento, em especial a sua cota.

Por fim, esta informação, toda ela em formato linear, foi compilada aos dados batimétricos relativos ao rio, à foz e à linha de costa da região.

A Figura 10 representa o Modelo Digital do Terreno, obtido através da construção de uma Rede de Triângulos Irregulares (TIN) da batimetria e linha de costa georreferenciada e vetorizada. Através da informação compilada maioritariamente através cartografia histórica e posteriormente modelada é possível, assim, obter uma representação do Modelo Digital de Terreno aquando do evento de 1755.

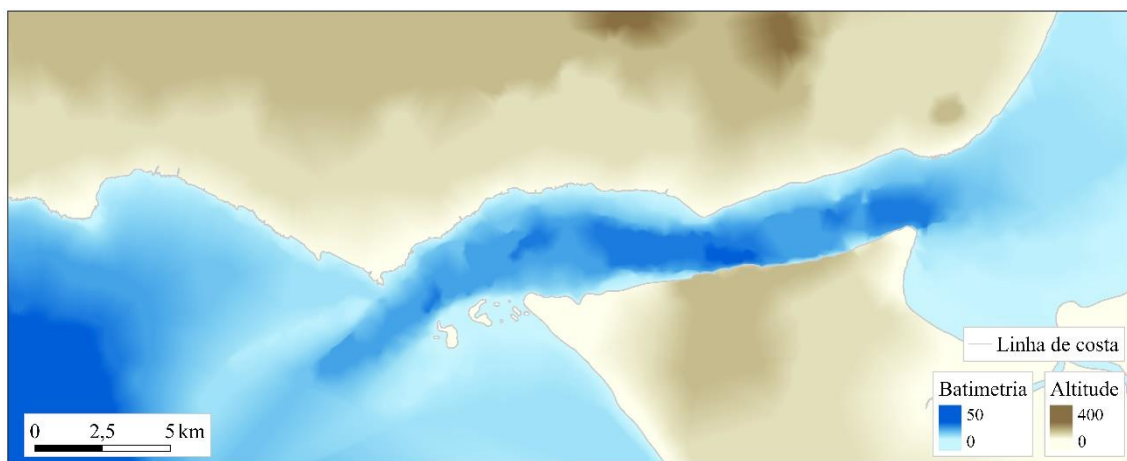


Figura 10: Modelo Digital do Terreno histórico da região de Lisboa: batimetria e linha de costa vetorizada a partir de cartografia histórica (Marinha Portuguesa, 1879, 1893). Altimetria com base no Atlas do Ambiente da Comissão Nacional do Ambiente (1982).

3.6. Construção do WebSIG

De acordo com Alesheikh *et al.* (2002), o desenvolvimento de um WebSIG deve seguir 10 etapas: análise de requisitos; desenho conceptual; pesquisa por *software* e *hardware*; desenho e construção da base de dados; aquisição de *hardware* e *software* SIG; integração do sistema WebSIG; desenvolvimento da aplicação WebSIG; e uso e manutenção do WebSIG. Neste caso, a metodologia aplicada foi distinta em diversos pontos, dado que não foi criada uma base de dados e não existiam significativas limitações ao nível do *hardware* e *software* disponíveis e licenciados. Além disso, algumas decisões, nomeadamente a escolha das funções a incluir no WebSIG, só foram possível de definir após a escolha da arquitetura e *software* a utilizar.

Numa fase inicial foram identificados os dados espaciais a colocar na aplicação. Estes correspondem aos resultados obtidos: os edifícios da malha urbana da cidade antes do evento e que estão incluídos ou intercetam as freguesias que limitam a área de estudo; as igrejas e ermidas identificadas inseridas na área de estudo, com informações adicionais relativas à freguesia a que pertenciam no séc. XVIII, o impacto do sismo, o impacto do incêndio e o impacto do tsunami nas mesmas; outros edifícios inseridos na área de estudo, com informações

adicionais relativas à freguesia a que pertenciam no séc. XVIII, o impacto do sismo, o impacto do incêndio e o impacto do tsunami nos mesmos; linha de costa quando do evento; limites das freguesias no séc. XVIII (da área de estudo) e estado geral em cada uma ficou após o evento; mosaico (vista aérea) do modelo tridimensional da área de estudo criado no Pix4D a partir da maquete; área inundada pelo tsunami; nível máximo da água; profundidade da inundação; altura da água e área inundada aquando da chegada da primeira onda, 5 minutos após a chegada desta e aquando da chegada da terceira onda (60, 65 e 130 minutos após o sismo, respetivamente). Os primeiros três dados, relativos aos edifícios da malha urbana antes do evento, foram representados no WebSIG em duas e três dimensões.

A escolha dos dados a apresentar foi determinante para a escolha dos *softwares* a utilizar. Inicialmente, procurou-se criar um WebSIG com uma arquitetura composta por aplica es, *software* e serviços de acesso e código livres (*free and open source*). Isto significa que o *software* empregue seria livre de ser utilizado, estudado, adaptado / editado, redistribuído e melhorado, bem como livre de custos (Steiniger & Hunter, 2012). Diversos exemplos deste tipo *software*, que foi criado inicialmente por equipas que precisavam de ferramentas que respondessem às suas necessidades, conseguem hoje ter maturidade para substituir muitos *softwares* equivalentes pagos e com acesso limitado (Steiniger & Hunter, 2012). Atualmente, existe uma grande diversidade de categorias de *software*, nomeadamente *desktop GIS* (e.g. Quantum GIS, GRASS, OpenJUMP, uDig), servidores de mapas (e.g. Mapserver, GeoServer), servidores Web (e.g. Apache Tomcat), bases de dados geográficas (e.g. PostGIS) e ferramentas / aplica es WebSIG (e.g. Mapbender). Isto significa que   possível construir um WebSIG totalmente *open source* (Figura 11). Neste sentido, o WebSIG apresentaria a seguinte arquitetura: os dados introduzidos e processados no *desktop GIS* seriam importados para o servidor de mapa GeoServer, cujo funcionamento e intera es na Web têm por base o servidor Web Tomcat; os dados incluídos no GeoServer podem apresentar previamente uma simbologia (e.g. proveniente de ficheiros SLD) ou a mesma ser configurada no servidor; no GeoServer estes dados são configurados e publicados, podendo ser acedidos na aplica o a que o utilizador tem acesso (e.g. Mapbender) através de protocolos como o Web Feature Service (WFS) e o Web Map Service (WMS); os pedidos efetuados pelo utilizador na plataforma Mapbender seriam enviados pelo Tomcat para o GeoServer que procederia   sua resposta.

Esta arquitetura tem na base aplica es de configura o relativamente amigável e com grande diversidade de funcionalidades e formatos suportados. O GeoServer, por exemplo, criado em 2001 e desenvolvido em Java, suporta dados provenientes de *shapefiles* e ArcGRID, GeoTIFF e, inclusivamente, bases de dados geográficas (e.g. PostGIS e Oracle Spatial), apresentando igualmente grande flexibilidade na partilha de dados.

Contudo, esta arquitetura apresenta ainda algumas lacunas no que respeita à representação de conteúdos tridimensionais. Além do mais, o acesso a *software* pago com uma plataforma mais amigável ao utilizador e esteticamente mais atrativa levou a que a arquitetura selecionada não constituísse *open source*, porém sim *proprietary software*. Em alternativa foi selecionado o ArcGIS Online da ESRI, que permite a quem tenha licença para utilização do ArcMap a transferência direta de dados para a Web.

O ArcGIS Online incorpora num só lugar as funcionalidades de um Servidor de Mapas, Servidor Web e de uma aplicação WebSIG (Figura 11). Os dados manuseados no ArcMap ou noutra *desktop GIS* podem ser importados para o ArcGIS Online, podendo lá ser editada a sua simbologia e o conteúdo das tabelas de atributos. Em complemento ao ArcMap 10.6.1 foi igualmente utilizado o *software* ArcGIS Pro 2.2 para edição e processamento da informação tridimensional. Este *software* permitiu que a diversa informação pudesse ser publicada e inserida no ArcGIS Online como *Web Layer*, dando origem a serviços que podem ser acedidos pelas várias ferramentas do ArcGIS Online. O ArcGIS Online é caracterizado também por ser acessível em diversos tipos de dispositivos e cujas aplicações produzidas podem ser partilhadas com qualquer indivíduo, mesmo que este não possua conta. Esta solução apresenta igualmente diferentes *templates* atrativos e com grande quantidade de funcionalidades possíveis de configurar. As suas aplicações têm a possibilidade de serem facilmente importadas para um qualquer Website, bem como possuem grande volume de conteúdo de suporte publicado online ou em fóruns.

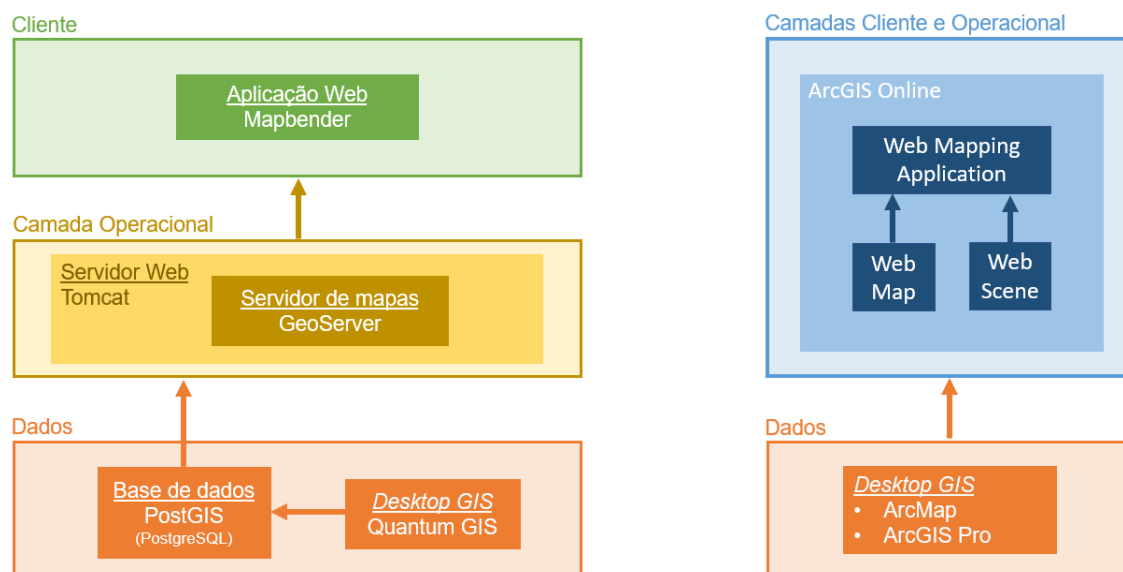


Figura 11: Duas arquiteturas distintas para aplicações WebSIG: exemplo de arquitetura totalmente *free and open source* (à esquerda) e arquitetura aplicada utilizando *proprietary software* (da ESRI) (à direita).

Após a escolha da arquitetura, em concordância com a ideia de uma arquitetura *open source*, procurou-se criar uma base de dados geográfica PostGIS onde os vários dados fossem armazenados. O PostGIS constitui uma extensão espacial do sistema de gestão de bases de dados gratuito e de código livre PostgreSQL, cuja primeira versão estável foi lançada em 2005 e que permite a criação e consulta de base de dados espaciais. Esta base de dados permitiria armazenar os dados processados num *desktop GIS* que depois seriam daí importados para o Servidor de Mapas, onde seria configurada a sua simbologia e efetuada a sua publicação.

Recorrendo ao ArcGIS online a base de dados deixa de ser necessária, na medida que é realizada uma ligação direta entre o ArcMap / ArcGIS Pro e a plataforma online e que os ficheiros depois de importados para o ArcGIS online constituem *Hosted feature layers*. Desta forma, os dados podem ser introduzidos noutras aplicações e acedidos por um maior leque de utilizadores, se devidamente publicados, podendo inclusivamente dar origem a protocolos WFS. Mesmo utilizando outro software, um diverso leque de formatos é possível de ser importado diretamente do computador para o ArcGIS Online (e.g. Deep learning package (.zip ou .dlpk), ficheiros GeoJSON (.geojson or .json), Web Feature Service (WFS)).

No ArcGIS Online os dados são depois editáveis, sendo definida a sua simbologia, atributos que estarão visíveis ao utilizador final, aparência e conteúdo das janelas *pop-up* ao selecionar entidades, bem como diversas outras configurações. Sempre que são editados, os dados podem ser guardados sendo o seu conteúdo automaticamente atualizado nas aplicações onde os mesmos tenham sido incluídos.

Após a definição das camadas a incluir no WebSIG e da sua arquitetura, foi desenvolvida a sua interface. A interface do WebSIG é composta por 5 mapas e desenvolvida em 3 níveis (Figura 12):

1. Num primeiro nível, designado de Web Map ou Web Scene, consoante se trate de um mapa bidimensional ou tridimensional, respetivamente, são selecionadas as camadas ativas, a simbologia das mesmas, os conteúdos das janelas *pop-up* e os conteúdos apresentados na tabela de atributos. Neste primeiro nível estão incluídos quatro Web Map e um Web Scene. O primeiro Web Map representa os edifícios, o mosaico do modelo elaborado no Pix4D, a área inundada pelo tsunami, o nível máximo da água, a profundidade da inundação, a altura da água aquando da chegada da primeira onda, a altura da água 5 minutos após a chegada desta onda, a altura da água aquando da chegada da terceira onda, a linha de costa e os limites das freguesias do séc. XVIII (correspondentes à área de estudo). Os restantes representam o impacto de cada um dos três fenómenos nos diversos edifícios sinalizados da área de estudo, através da edição

da simbologia pelo respetivo atributo. O Web Scene representa os edifícios que intersectam ou estão contidos na área de estudo em três dimensões;

2. Num segundo nível cada um dos Web Map e o Web Scene são introduzidos numa aplicação preliminar, onde estão alojadas as diversas funções apresentadas anteriormente. São assim criadas cinco aplicações com recurso à ferramenta Web AppBuilder do ArcGIS Online e a diferentes *templates* consoante a necessidade de mais ou menos funcionalidades;
3. Contudo, embora funcionais e com aparência definitiva estas aplicações constituem cinco WebSIG isolados e sem ligação aparente entre si. Para unir estes WebSIG numa aplicação única e mais completa foi criada um StoryMap. Um StoryMap constitui uma aplicação criada através do ArcGIS Online que permite, como o nome indica, contar uma história a partir da representação de diferentes mapas, conteúdos com carácter espacial ou outro tipo de informações. Por outro lado, esta aplicação não oferece funções como as representadas nas aplicações anteriores, inclusivamente a ativação / desativação de *layers*. A junção dos dois tipos de aplicação permite alcançar as vantagens de ambas sem prejuízo.

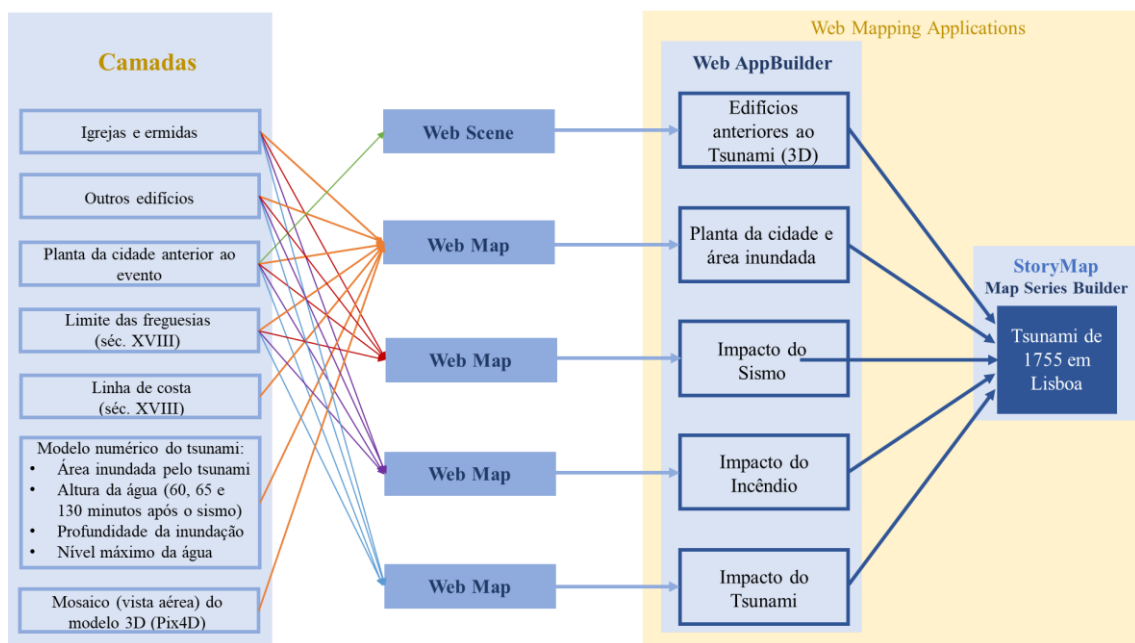


Figura 12: Arquitetura da interface do WebSIG.

Com a interface moldada, foram escolhidas as funções a apresentar no WebSIG. Neste caso, cada um dos 5 mapas / separadores apresenta determinadas funções. O mapa que representa

entidades tridimensionais apresentará muitas das funções disponibilizadas pela *framework* escolhida para conteúdo tridimensional: diversas funções básicas como a opção de voltar à extensão inicial do mapa, as coordenadas do cursor, opção de ecrã inteiro, bússola, navegação das margens, *zoom* e pesquisa simples por locais genéricos (e.g. Terreiro do Paço ou uma rua específica); e algumas funções mais complexas com a alteração da iluminação natural e das sombras, através da alteração da hora, dia e fuso horário, medição de áreas (em metros quadrados) e perímetros (em metros) e seleção do mapa de base (e.g. topográfico, imagem de satélite). O mapa bidimensional que representa a planta da cidade, os edifícios e os *outputs* do modelo tridimensional da área de estudo e do modelo numérico do tsunami é o que apresenta maior diversidade e quantidade de funcionalidades. Além das funções semelhantes ao mapa anterior, este apresenta ainda outras funções mais avançadas:

- **Tabela de atributos:** listagem das entidades de cada camada e diferentes atributos das mesmas. De entre as várias camadas, selecionou-se apresentar a tabela de atributos de apenas 3 camadas na aplicação (“Igrejas e ermidas”, “Outros edifícios” e “Limite das freguesias (séc. XVIII)”), uma vez que o conteúdo das restantes constitui somente a enumeração das entidades que as constituem;
- **Direções:** ferramenta que fornece o percurso mais eficiente a percorrer entre uma localização de partida e uma de chegada. Para tal, esta ferramenta recorre ao serviço de geocodificação do ArcGIS, que permite a pesquisa e identificação espacial de moradas e localizações. Além deste serviço esta ferramenta permite a ligação a outros serviços de geocodificações, bem como a informações disponíveis em camadas constituídas por objetos espaciais ou simples tabelas sem carácter espacial. No caso deste WebSIG, as camadas “Igrejas e ermida” e “Estruturas e edifícios nobres” foram também usadas como fonte para o cálculo das direções. Além disso, estabeleceu-se que as direções seriam dadas em português de Portugal (pt-PT) e que o metro constituiria a unidade de medida;
- **Deslizar camada:** esta função apresenta um mecanismo que permite que uma ou mais camadas previamente selecionadas possam deslizar sobre as restantes, facilitando a comparação dos seus conteúdos. Neste caso, optou-se por um deslizamento vertical da camada relativa ao mosaico (vista aérea) do modelo tridimensional obtido através do *software* Pix4D. Quando esta camada não está selecionada / ativa, o que ocorre por defeito à abertura do WebSIG, esta funcionalidade não estará em pleno funcionamento;
- **Gráficos:** esta função permite a criação de gráficos (de colunas, de barras, circular ou linear) a partir de dados quantitativos disponíveis na tabela de atributos das

diversas camadas ou com base na contabilização dos valores observados em determinado atributo. A ferramenta permite que sejam utilizados dados das camadas inseridas no WebSIG, bem como de outras cuja fonte seja o ArcGIS Online ou constitua um *feature service*. Foram criados diversos gráficos de colunas, organizados do valor com menor número de tuplos associado para o maior (e.g. impacto de cada um dos três fenómenos (sismo, incêndio e tsunami) para as entidades pertencentes às camadas “Igrejas e ermida” e “Outros edifícios” e impacto geral do evento em cada freguesia);

- **Filtro:** ferramenta que permite ao utilizador selecionar quais as entidades (das camadas a que seja aplicado) visíveis no WebSIG através de uma expressão. Esta possibilita que sejam previamente definidos filtros que o utilizador pode ativar ou que este construa filtros personalizados por si. Alguns filtros foram previamente criados, nomeadamente “Freguesias queimadas”, “Igrejas e ermidas localizadas na freguesia de São Paulo” e “Outros edifícios (que não igrejas e ermidas) para o quais existem dados relativos ao impacto do incêndio”. Quando ativado um filtro, a ferramenta fará zoom às localizações filtradas e as restantes entidades deixarão de surgir na tabela de atributos. Para realizar um filtro o utilizador necessita de conhecimento dos atributos de cada camada e respetivos valores, devendo recorrer à tabela de atributos para o efeito;
- **Consulta espacial:** esta ferramenta permite que sejam realizadas consultas espaciais, previamente estabelecidas, às tabelas de atributos. Foram definidas diversas consultas (e.g. objetos que correspondem a ermidas, ou igrejas localizadas na freguesia de S. Miguel), podendo em alguns casos ser realizado um filtro aos resultados obtidos (e.g. entidades que intersejam um polígono desenhado pelo utilizador final, entidades visíveis com a extensão atual do mapa). Aos filtros definidos poder-se-á definir uma designação, aquando da consulta, podendo cada um ser novamente ativado na janela com a listagem das camadas, mesmo se encerrada a ferramenta de consulta espacial. Após a consulta o resultado é reproduzido através de um *zoom* às entidades selecionadas seguido da exibição de uma janela com as informações relativas às mesmas.

Os restantes três separadores apresentam somente ferramentas já apresentas, constituindo quase na totalidade ferramentas básicas (e.g. ecrã inteiro, zoom, localização da extensão representada, deslocação das margens), servindo de exceção a legenda.

Concluída a sua construção, o WebSIG está pronto a ser publicado e a que seja dado acesso a este aos diversos utilizadores. Neste caso, procura-se que não apenas os visitantes tenham

acesso à aplicação a partir de computadores instalados no Museu, mas que também *online*, em qualquer lugar e momento, outros utilizadores possam ter acesso a esta. A manutenção e a retificação da aplicação partirão da parte da equipa no IGOT, dado o acesso que possui ao *software* e à aplicação (i.e. licença de utilização) e aos conhecimentos que possui no que diz respeito ao manuseamento dos dados para futuras atualizações.

4. Resultados e discussão

4.1. Diferenças entre a linha de costa histórica e a atual

Os processos de georreferenciação e de vetorização das cartas e plantas históricas permitiram verificar que a linha de costa da cidade de Lisboa apresentou grandes alterações no período entre o evento e a atualidade. De acordo com as medições realizadas a diferença é superior na freguesia histórica de S. Paulo, no extremo oeste da área de estudo, chegando próxima dos 300 metros. A linha de costa histórica, apresentada na Figura 13, encontra-se ainda visível hoje. Na ainda agora designada Ribeira das Naus (#P2, ver localização na Figura 15), hoje um terreiro onde ainda estão presentes vestígios do histórico local de construção das naus, estão ainda presentes os resquícios de uma antiga doca de construção (doca seca), aproximadamente na linha de costa em frente da Casa da Ópera (#N) (Figura 13). Esta estrutura não encaixa perfeitamente, porém, na linha de costa vetorizada, constituindo esta última a melhor aproximação encontrada.



Figura 13: Resquícios atuais de um antigo cais de construção de naus (#P2). Fotografia obtida em campo a 9 de maio de 2019.

A Figura 13 permite também verificar que a altimetria local não apresenta alterações significativas, tendo apenas sido aplanada embora se registre a cerca de 3 metros acima do nível médio do mar (Figura 25 e Tabela 10, local viii, Cap. 4.3).

A vetorização da linha de costa e dos limites das freguesias permitiu igualmente concluir a existência de alguma discrepância na geometria da linha de costa derivada de diferentes fontes.

Estas diferenças poder-se-ão resultar, em todo o caso, do processo de georreferenciação diferenciado e da diferença temporal entre os dois objetos (i.e. a linha de costa corresponderá ao período anterior ao evento e os limites das freguesias terão sido desenhados entre 1756 e 1768). Posteriormente, as discrepâncias foram reduzidas para corrigir em parte esta deformação quando apresentadas as informações no WebSIG, tendo sido mantida a geometria da linha de costa por dizer respeito a um período anterior ao evento.

4.2. Freguesias históricas da área de estudo

As plantas das freguesias de Monteiro de Carvalho (n.d.), referentes a 1756-1768, apresentam designações muito distintas das atuais, contudo mais próximas das utilizadas até à reorganização administrativa de 2012. De acordo com estas plantas, a área de estudo estaria dividida em seis freguesias (Figura 14): S. Paulo, S. Julião, Madalena, Sé, S. João da Praça e S. Miguel (de oeste para este). Verificou-se uma ligeira distorção entre os limites das freguesias e a planta de cidade anterior ao sismo (Ribeiro, 1949), contudo a mesma poderá ser resultado do processo de georreferenciação.

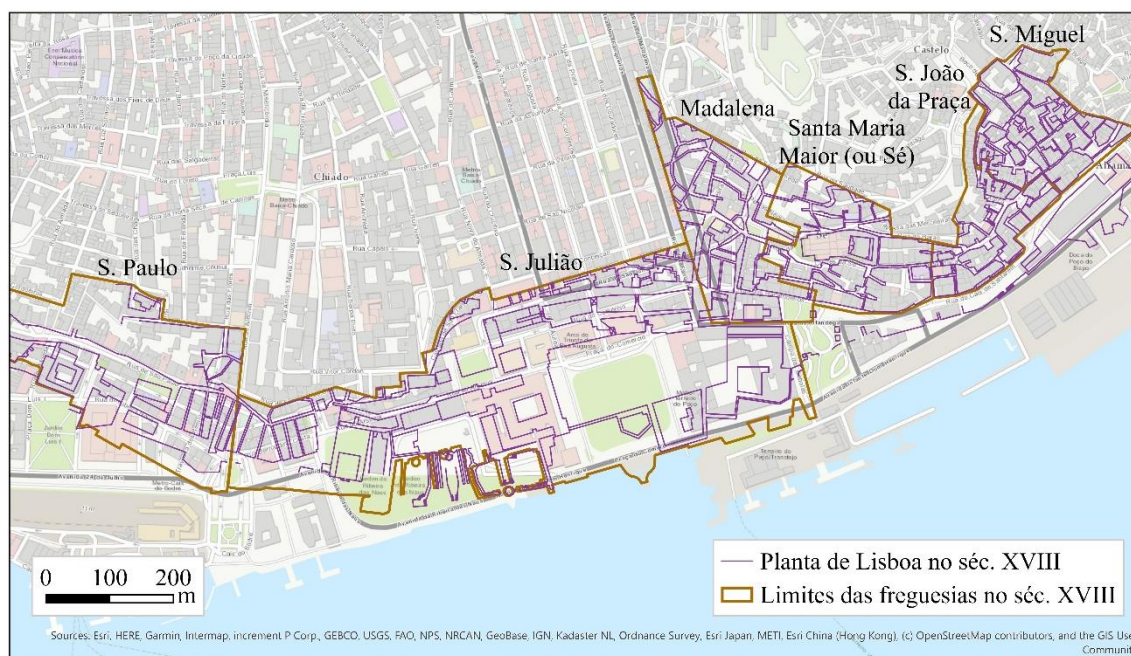


Figura 14: Limites das freguesias da área de estudo no séc. XVIII. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Em todo o caso, embora não datem do período anterior ao evento, os limites das freguesias de Monteiro de Carvalho (n.d.) estão de acordo com as descrições históricas compiladas por Sousa (1928).

4.3. Impacte do sismo, incêndio e tsunami

De acordo com os relatos compilados por Sousa (1928), existem algumas contradições no que respeita à população residente nas diversas freguesias históricas, anteriormente e posteriormente à ocorrência do sismo (Santos *et al.*, 2019). Além disso, são muitos os registos que se perderam com o evento, nomeadamente a totalidade dos livros de registos relativos à freguesia histórica de S. Julião que terá sido destruída pelo incêndio (Santos *et al.*, 2019). De igual modo, um livro com o registo de óbitos prévios ao evento também terá sido destruído (Santos *et al.*, 2019). A freguesia de S. Miguel apresenta um decréscimo significativo na população residente por mudança de residência da mesma, não sendo, por isso, resultado de falecimento dos residentes aquando do evento (Santos *et al.*, 2019). Ainda é de salientar que os censos históricos não consideravam população com idade inferior ou igual a 7 anos, não se encontrando esta contabilizada (Santos *et al.*, 2019). Por tudo isto, os valores apresentados na Tabela 5 relativos aos dados dos censos anteriores e posteriores ao evento e ao número de vítimas mortais apresentam algumas discrepâncias.

Contudo, apesar das perdas de muitos dos registos e das contradições que alguns relatos apresentam, as informações compiladas permitem esclarecer, em parte, o impacto que este evento teve nas populações das várias freguesias históricas. Segundo a compilação de Sousa (1928), as freguesias de São Paulo e São Julião surgem como as que terão sido mais afetadas de entre as diversas freguesias da área de estudo (Tabela 5). 900 pessoas morreram devido ao tsunami no Terreiro do Paço (freguesia de São Julião) e entre 13 e 300 terão falecido no interior da Igreja de São Paulo (#1) (freguesia de São Paulo).

Tabela 5: Dados dos Censos anteriores e posteriores ao sismo de 1755 e número de vítimas mortais, compilados de Sousa (1928). Os dados apresentados dizem respeito a indivíduos com idade superior a 7 anos. Quando verificados dados com discrepância, os diferentes valores são separados por “;”.

Freguesia	Antes		Depois		Vítimas mortais
	Edifícios	Indivíduos	Edifícios	Indivíduos	
São Paulo	755; 1 000	4 000; 7 000 – 8 000	-	4 000; 1 200	13; 70; 300
São Julião	1 600	7 016	-	1 719	900
Madalena	800	3 700	-	434	1; 137
Sé	896	4 255	-	730	4
São João da Praça	305; 400 - 500	1 359 ; 1 700	10	50	2
São Miguel	870	3 700	-	1 850	0
Total	5 226 – 5 666	24 030 – 28 371	-	5 983 - 8 783	920 - 1 343

Os relatos históricos e outras fontes apresentadas no Cap. 3.1 levaram a que se considerasse neste estudo um total de 17 igrejas (ou ermidas) e 15 palácios ou outros edifícios localizados dentro dos limites das freguesias da área de estudo. Estes 32 edifícios identificados, bem como as freguesias históricas a que pertencem, estão apresentados na Figura 15. Embora seja difícil hoje definir ao certo a localização e os limites dos 32 edifícios estudados, esta dissertação procurou chegar a uma aproximação dos mesmos, tendo em consideração a planta da cidade anterior ao evento (Ribeiro, 1949) (Figura 16) e as informações fornecidas pelas fontes referidas no Cap. 3.1.

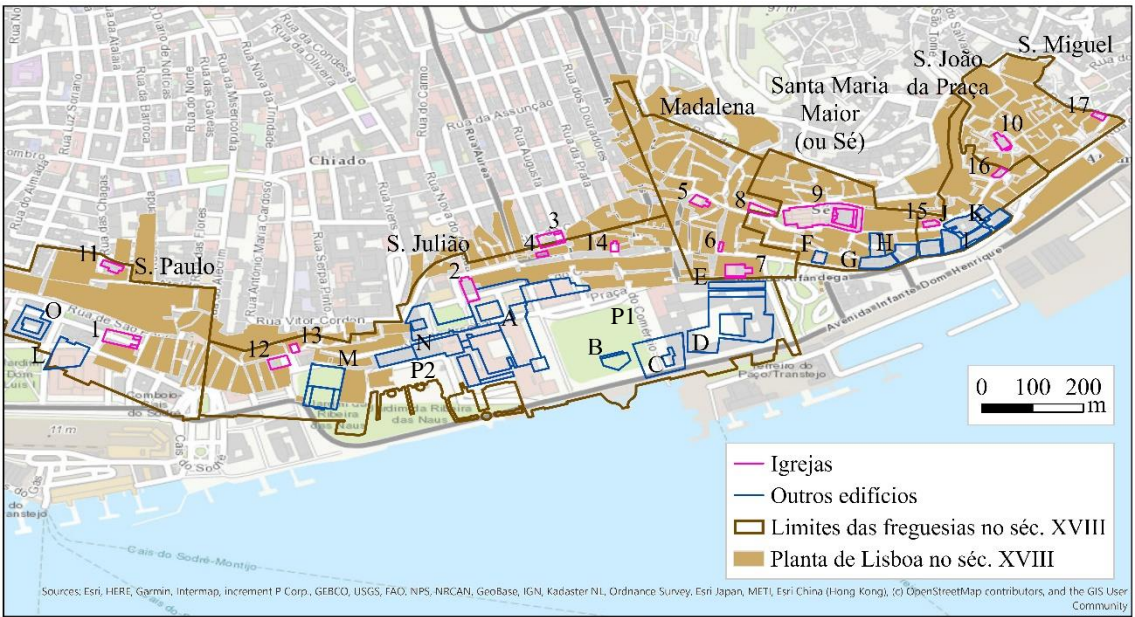


Figura 15: Igrejas e outros edifícios identificados. A ordenação encontra-se nas Tabelas 6 e 7. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente. As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente.

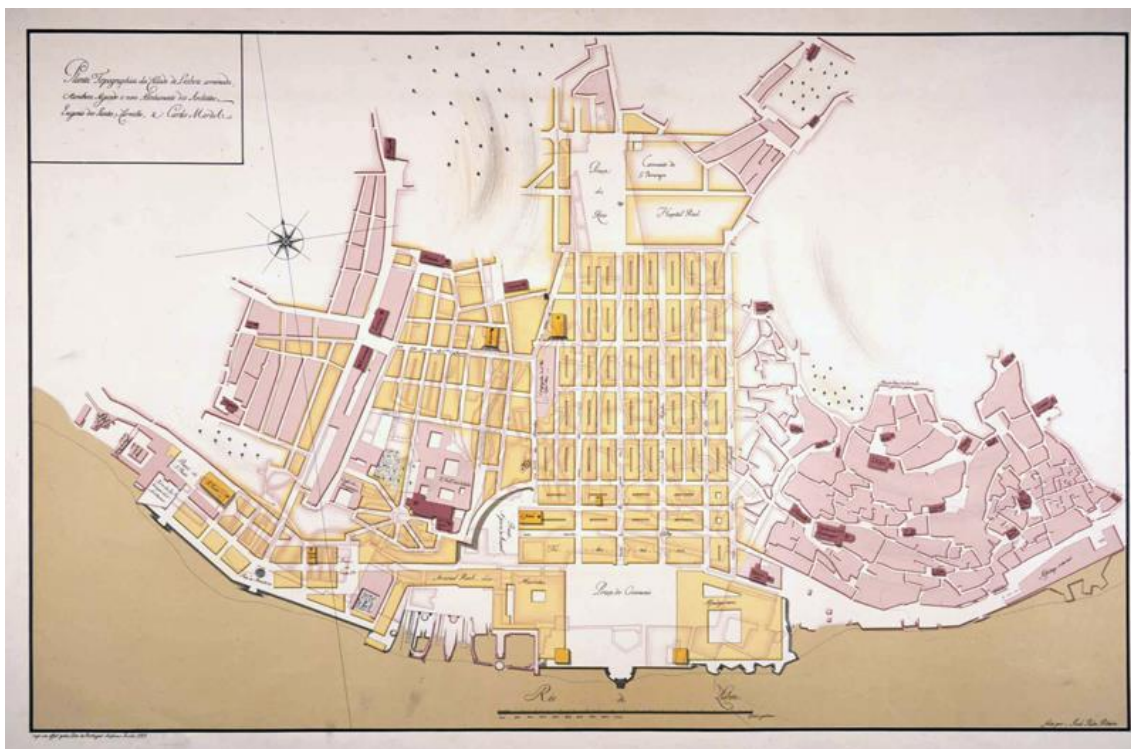


Figura 16: Reprodução da "Planta topográfica da cidade de Lisboa arruinada": representação da planta da cidade anterior ao sismo sobreposta pelo projeto selecionado para a reconstrução da cidade da autoria de Eugénio dos Santos Carvalho e Carlos Mardel.
 Fonte: Ribeiro (1949)

Freitas (1850) permitiu confirmar, em particular, a reconstrução da Igreja de S. Pedro (#16) com a designação pós-sismo de S. Rafael, e a existência da Alfândega geral, no extremo este da área de estudo, onde alguns anos após o sismo foi construído o Terreiro Público para substituir, como armazém, o Terreiro do Trigo (#E) junto do Terreiro do Paço. As plantas pertencentes a esta série (Freitas, 1850) vão também de encontro com a planta tida em consideração e vetorizada nesta dissertação.

O trabalho de campo no local permitiu também confirmar a localização de alguns dos edifícios objeto de estudo. Através do brasão ainda hoje presente no edifício agora hotel foi possível identificar o local e o que resta do Palácio dos Condes de Coculim (#I, de acordo com a Tabela 12) (Figura 17).






Figura 17: Local do antigo Palácio dos Condes de Coculim (#1), onde ainda hoje persiste o brasão dos Mascarenhas que o identifica (assinalado pelas setas). Fotografias tiradas a 12 de maio de 2019.

Em visita à Igreja de S. Paulo (#1) foi possível saber que o antigo largo de S. Paulo estaria localizado numa posição mais a oeste do atual, encontrando-se a igreja primitiva a este do mesmo, ao contrário do que sucede atualmente. Descrições apresentadas à entrada da igreja apontavam que a freguesia em que esta e o largo se inserem foi uma das mais afetadas pelos sismo e tsunamis de 1755, apresentando grande destruição daí resultante. Esta terá sido a zona da antiga cidade mais afetada pelo tsunami. Relativamente à gravidade dos danos do sismo na freguesia, também o mesmo ressalta a Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009), entidade responsável pelo desenvolvimento de um folheto de divulgação e apresentação da igreja. É igualmente referido na descrição à entrada do edifício que a freguesia foi também afetada pelo incêndio, fenómeno este que terá levado à destruição quase por completo do centro da antiga cidade, que em grande medida constitui a zona baixa da mesma.

Investigação foi também realizada no sentido de obter informações relativas ao estado posteriormente ao evento em que os diversos edifícios ficaram e que de causas se deveram os seus danos (sismo, incêndio e/ou tsunamis). Os dados relativos à última questão são muitos escassos embora sejam muitos os relatos conhecidos associados à cidade de Lisboa.

As Tabelas 6 e 7 sintetizam as principais características dos 32 edifícios identificados, especificamente a designação pré-evento e a atual, o estado pós-evento e o atual, o ano de construção e de reedificação, a morada e a freguesia histórica em que se inserem.





Tabela 6: Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Nº	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual	Fotografia do local atual
1	Igreja de S. Paulo	São Paulo	Muito afetada pelo sismo, tsunami e incêndio ⁷	Séc. XV 2,5 (1412 ^a) (localizada na atual Praça de S. Paulo ^{2,5} e orientada a oeste ⁷)	Reedificada ^{2,5} (desta vez com a entrada virada para este ⁷)	1768 ^{2,5,7}		Praça de São Paulo ⁵	
2	Igreja Patriarcal	São Julião	Destruída ^{9,11}	Posterior a 1714 ¹¹	Reedificada (aproximadamente no mesmo local com a designação de outra Igreja destruída no evento) ⁶	1802 ⁶ / 1854 ⁹	Igreja de S. Julião (Museu do Dinheiro) ⁶	Largo de S. Julião	
3	Igreja de S. Julião	São Julião	Totalmente destruído ⁹	Anterior a 1200 ⁹	Extinta ⁹				

¹ Museu de Lisboa (Palácio Pimenta); ² CML; ³ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁴ Direção-Geral do Património Cultural; ⁵ Lisboa interativa (CML); ⁶ Museu do Dinheiro (Banco de Portugal); ⁷ Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009); ⁸ (CML - placares na rua); ⁹ Proença (1991); ¹⁰ Projeto Lx Conventos (2015); ¹¹ Vieira da Silva (1987b).





^a Segundo inscrição sobre a entrada da igreja primitiva (Fonte: Igreja de S. Paulo).

Tabela 6 (CONTINUAÇÃO): Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Nº	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual	Fotografia do local atual
4	Ermida de N. S. ^a da Oliveira	São Julião	Destruída ⁵	Início do séc. XIV ⁵	Reedificada (perto do local da igreja primitiva e incorporada no rés-do-chão de um prédio pombalino) ⁵			Rua de São Julião, 136-140 ⁵	
5	Igreja da Madalena	Madalena	Destruída ²	séc. XII ^{2,5}	Reedificada ^{2,5}	1783 ^{2,9}		Largo da Madalena ⁵	
6	Ermida de S. Sebastião da Padaria	Madalena			Extinta				
7	Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia	Madalena	Quase totalmente destruída ^{5,8,9}	séc. XV-XVI ⁸ (1520 ⁹)	Reedificada (com a designação de outra Igreja também destruída) ^{2,5}	Após o evento ²	Igreja da Conceição-Velha ^{2,5,9}	Rua da Alfândega ⁵	





¹ Museu de Lisboa (Palácio Pimenta); ² CML; ³ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁴ Direção-Geral do Património Cultural; ⁵ Lisboa interativa (CML); ⁶ Museu do Dinheiro (Banco de Portugal); ⁷ Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009); ⁸ (CML - placares na rua); ⁹ Proença (1991); ¹⁰ Projeto Lx Conventos (2015); ¹¹ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 6 (CONTINUAÇÃO): Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Nº	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual	Fotografia do local atual
8	Igreja de Sto. António da Sé	Madalena	Quase totalmente destruída ^{3,9} / Parcialmente destruída ⁸	Meados do séc. XV ^{2,9} (1431 ⁹)	Reedificada ^{2,8}	1767-1787 ^{2,5,8} (terminada em 1812 ⁹)		Largo de Santo António da Sé ⁵	
9	Basílica de Sta. Maria Maior ou Igreja da Sé	Sé	Muito danificada ¹	1150 ¹ / 1147 ⁵	Recuperada ¹			Largo da Sé ⁵	
10	Igreja de S. Miguel	São Miguel	Danificada ^{2,5} / destruída ⁹	Meados do séc. XII ^{2,5} (aproximadamente 1150 ⁸)	Recuperada ^{2,5} / Reedificada ⁹	Após o evento ⁵		Largo de São Miguel ⁵	
11	Igreja das Chagas	São Paulo	Destruída ²	1542 ^{2,9}	Reedificada ²	Após o evento ²		Rua das Chagas ⁵	



¹ Museu de Lisboa (Palácio Pimenta); ² CML; ³ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁴ Direção-Geral do Património Cultural; ⁵ Lisboa interativa (CML); ⁶ Museu do Dinheiro (Banco de Portugal); ⁷ Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009); ⁸ (CML - placares na rua); ⁹ Proença (1991); ¹⁰ Projeto Lx Conventos (2015); ¹¹ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 6 (CONTINUAÇÃO): Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Nº	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual	Fotografia do local atual
12	Igreja do Convento dos Dominicanos Irlandeses	São Julião	Destruída ^{4,5} ; em cinzas ¹¹	1659 ^{5,11}	Reedificada ^{4,9} (ligeiramente para oeste para encaixar no plano pombalino ³)	2ª metade do séc. XVIII ^{4,5} (a partir de 1758 ³)	Igreja do Corpo Santo ⁴	Largo do Corpo Santo ⁵	
13	Ermida de N. S.ª da Graça	São Julião	Não sofreu com o sismo, nem com o incêndio ¹¹	Anterior a 1594 ¹¹	Demolida (devido à nova planta de Lisboa) ¹¹				
14	Igreja de N. S.ª da Conceição	São Julião	Muito danificada ⁹	1699 ⁹	Extinta ⁹				
15	Igreja (Ermida 5) de S. João da Praça	São João da Praça	Destruída ⁵		Reedificada ⁵	1789 ⁵		Rua de São João da Praça, 66-82 ⁵	






¹ Museu de Lisboa (Palácio Pimenta); ² CML; ³ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁴ Direção-Geral do Património Cultural; ⁵ Lisboa interativa (CML); ⁶ Museu do Dinheiro (Banco de Portugal); ⁷ Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009); ⁸ (CML - placares na rua); ⁹ Proença (1991); ¹⁰ Projeto Lx Conventos (2015); ¹¹ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 6 (CONTINUAÇÃO): Dados das igrejas ou ermidas históricas da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Nº	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual	Fotografia do local atual
16	Igreja de S. Pedro	São João da Praça	Destruída ¹⁰	Final do século XII ¹⁰	Extinta ^{9,10}				
17	Ermida de N. Sr.ª dos Remédios	São Miguel	Muito danificada ⁹	1ª metade do séc. XVI ⁵ (1551 ⁹)	Recuperada			Rua dos Remédios ⁵	






¹ Museu de Lisboa (Palácio Pimenta); ² CML; ³ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁴ Direção-Geral do Património Cultural; ⁵ Lisboa interativa (CML); ⁶ Museu do Dinheiro (Banco de Portugal); ⁷ Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento (2009); ⁸ (CML - placares na rua); ⁹ Proença (1991); ¹⁰ Projeto Lx Conventos (2015); ¹¹ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 7: Dados dos palácios e outros edifícios históricos considerados da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Letra	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual (entrada principal)	Fotografia do local atual
A	Paço Real da Ribeira	São Julião	Totalmente destruído ^{1,15} (sobretudo pelo sismo e pelo incêndio) ¹⁵	Início do séc. XVI ¹	Nova construção com mudança de funções (Ministério do Mar, Tribunal da Relação de Lisboa, Turismo de Lisboa, entre outros)	2ª metade séc. XVIII			
B	Forte da Vedoria	São Julião	Destruído ¹³ (sobretudo pelo incêndio) ¹⁵	Durante a Dinastia Filipina ¹⁵	Extinto				
C	Alfândega do Tabaco	São Julião	Destruída ¹² (sobretudo ou talvez apenas pelo incêndio) ¹⁵	Anterior a 1712 ¹⁵	Nova construção com mudança de funções; mudança de instalações para a rua do Terreiro do Trigo	2ª metade séc. XVIII			
D	Alfândega e Tribunal das Sete Casas	São Julião	Destruído (sobretudo pelo incêndio) ¹¹	1526 ¹¹	Nova construção com mudança de funções (Ministério das Finanças); mudança de instalações para o Pelourinho Novo ¹¹	2ª metade séc. XVIII			
E	Terreiro do Trigo	São Julião	Destruído (sobretudo ou talvez apenas pelo incêndio) ¹⁵	1534 ¹⁵	Nova construção com mudança de funções (Ministério das Finanças); mudança de instalações para a rua do Terreiro do Trigo	2ª metade séc. XVIII			






¹ Câmara *et al.* (2012); ² Murteira *et al.* (2017); ³ Lisboa interativa (CML); ⁴ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁵ Museu de Lisboa; ⁶ CML / Turismo de Lisboa; ⁷ Direção-Geral do Património Cultural; ⁸ INCM; ⁹ Ferreira (2015); ¹⁰ Barros (2016); ¹¹ Tribunal de Contas; ¹² Arquivo Nacional Torre do Tombo; ¹³ del Priore (2003); ¹⁴ Proença (1991); ¹⁵ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 7 (CONTINUAÇÃO): Dados dos palácios e outros edifícios históricos considerados da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Letra	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual (entrada principal)	Fotografia do local atual
F	Casa dos Bicos	Sé	Muito danificada pelo sismo e incêndio ⁷ (os 2 pisos superiores ficaram destruídos ³ e a fachada principal caiu ⁷)	1521-1523 ^{3,5,7} (1º terço do séc. XVI ¹⁴)	Parcialmente recuperado (os 2 pisos superiores) ³	1772 (parcialmente) ² ; 1983 ³ / 1981-82 ^{5,6}		Rua dos Bacalhoeiros, 10-10F ³	
G	Palácio do Conde de Aveiro	Sé	Destruído ^{13,12}		Recuperado e reconvertido para habitação ou outras funções				
H	Palácio do Marquês de Távora	Sé	(presumivelmente destruído ^{10,12})		Recuperado e reconvertido para habitação ou outras funções				
I	Palácio dos Condes de Coculim	São João da Praça	Muito danificado (ficou com entulho da destruição dos edifícios acima localizados) ⁴	Séc. XVI-XVII ^{4,14}	Primeiro transformado em armazém, posteriormente em edifício residencial e, hoje, hoteleiro. ⁴	1858 ⁴	Palácio dos Condes de Coculim / Hotel Eurostars Museum	Rua Cais de Santarém, 38-66 ⁴	
J	Palácio do Conde de Vila-Flor	São João da Praça	(presumivelmente destruído ^{10,12})		Recuperado e reconvertido para habitação ou outras funções (inclusivamente hoteleira)				

¹ Câmara *et al.* (2012); ² Murteira *et al.* (2017); ³ Lisboa interativa (CML); ⁴ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁵ Museu de Lisboa; ⁶ CML / Turismo de Lisboa; ⁷ Direção-Geral do Património Cultural; ⁸ INCM; ⁹ Ferreira (2015); ¹⁰ Barros (2016); ¹¹ Tribunal de Contas; ¹² Arquivo Nacional Torre do Tombo; ¹³ del Priore (2003); ¹⁴ Proença (1991); ¹⁵ Vieira da Silva (1987b).

Tabela 7 (CONTINUAÇÃO): Dados dos palácios e outros edifícios históricos considerados da área de estudo: designação pré-evento e atual, estado pós-evento e atual, ano de construção e de reedificação, morada, fotografia do local na atualidade e freguesia histórica em que se insere. As fotografias apresentadas foram tiradas a 9 e 12 de maio de 2019.

Letra	Designação	Freguesia histórica	Estado pós-evento	Ano de construção	Estado atual	Ano da reedificação (caso destruída)	Designação atual	Morada atual (entrada principal)	Fotografia do local atual
K	Palácio do Marquês de Angeja	São João da Praça	Totalmente destruído ¹⁰	Passou a ser propriedade da casa Angeja na 1ª metade do séc. XVIII ¹⁰	Construção de um novo palácio, novamente sobre o Chafariz d'el-rei ¹⁰	Início do séc. XX ¹⁰	Palacete Chafariz D'El Rei (Hotel)	Travessa do Chafariz d'El-Rei, 4-6 ³	
L	Forte de S. Paulo	São Paulo		2ª metade do séc. XVII ⁹	Extinto				
M	Palácio dos Corte Real	São Julião	Totalmente destruído ^{5,15}	Séc. XVI ¹² (1585 ^{5,15})	Extinto				
N	Casa da Ópera	São Julião	Destruída ²	Inaugurada a 31 de março de 1755 ²	Nova construção com mudança de funções (Parte do complexo do Tribunal da Relação de Lisboa)				
O	Casa da Moeda	São Paulo	(presumivelmente pouco danificada ⁸)	1720 ⁸	Mudança de localização em 1941 ⁸ (Nova construção para habitação e outras funções)				

¹ Câmara *et al.* (2012); ² Murteira *et al.* (2017); ³ Lisboa interativa (CML); ⁴ Sistema de Informação para o Património Arquitetónico (SIPA) (Direção-Geral do Património Cultural); ⁵ Museu de Lisboa; ⁶ CML / Turismo de Lisboa; ⁷ Direção-Geral do Património Cultural; ⁸ INCM; ⁹ Ferreira (2015); ¹⁰ Barros (2016); ¹¹ Tribunal de Contas; ¹² Arquivo Nacional Torre do Tombo; ¹³ del Priore (2003); ¹⁴ Proença (1991); ¹⁵ Vieira da Silva (1987b).

Apesar da elevada quantidade de registos e de relatos históricos referentes ao evento de 1 de novembro de 1755 em Lisboa, são escassas as informações que indiquem que fenómeno(s) (sismo, incêndio ou tsunami) justifica(m) os danos relatados e verificados em cada edifício. Tanto Coelho (2005) como França (1978, referida por Oliveira, 2005) elucidam para a dificuldade em identificar as causas para os danos nos diversos edifícios da cidade, na medida que existe grande sobreposição entre a área afetada pelo incêndio, a área de maior intensidade sísmica e, no caso da zona ribeirinha, a área afetada pelo tsunami.

Esta dissertação procurou, sempre que possível, destacar os danos provocados isoladamente pelos sismo, incêndio e tsunami, classificando, quanto aos danos relatados nos mesmos, os 32 edifícios identificados (Tabela 8 e Figura 18): se o edifício não apresentou quaisquer danos provocados por nenhum dos fenómenos ou apresentou danos mínimos foi dada a classificação de “Pouco ou nenhum dano”; se o edifício apresentou danos menores e / ou colapsou parcialmente foi dada a classificação de “Colapso parcial”; se o edifício colapsou ou é referido como tendo sido destruído foi dada a classificação de “Colapso total” (Santos *et al.*, 2019).

Tabela 8: Impacto do sismo, incêndio e tsunami nas igrejas (1-17) e outros edifícios (A-O) da área de estudo.

Cód.	Designação	Freguesia	Impacto do sismo	Impacto do incêndio	Impacto do tsunami
1	Igreja de S. Paulo	São Paulo	Colapso parcial	Colapso total	Refúgio para alguns indivíduos
2	Igreja Patriarcal	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
3	Igreja de S. Julião	São Julião	Colapso total	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
4	Ermida de N. S. ^a da Oliveira	São Julião	Colapso parcial	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
5	Igreja da Madalena	Madalena	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
6	Ermida de S. Sebastião da Padaria	Madalena	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
7	Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia	Madalena	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
8	Igreja de Sto. António da Sé	Madalena	Colapso total	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
9	Basílica de Sta. Maria Maior ou Igreja da Sé	Sé	Colapso total	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
10	Igreja de S. Miguel	São Miguel	Colapso parcial	Sem incêndio	Pouco ou nenhum dano
11	Igreja das Chagas	São Paulo	Colapso parcial	Colapso parcial	Pouco ou nenhum dano
12	Igreja do Convento dos Dominicanos Irlandeses	São Julião	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
13	Ermida de N. S. ^a da Graça	São Julião	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
14	Igreja de N. S. ^a da Conceição	São Julião	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
15	Igreja de S. João da Praça	São João da Praça	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano

Tabela 8 (CONTINUAÇÃO): Impacto do sismo, incêndio e tsunami nas igrejas (1-17) e outros edifícios (A-O) da área de estudo.

16	Igreja de S. Pedro	São João da Praça	Colapso total	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
17	Ermida de N. S.ª dos Remédios	São Miguel	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
A	Paço Real da Ribeira	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
B	Forte da Vedoria	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Colapso total
C	Alfândega do Tabaco	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Colapso total
D	Alfândega e Tribunal das Sete Casas	São Julião	Sem dados	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
E	Terreiro do Trigo	São Julião	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
F	Casa dos Bicos	Sé	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
G	Palácio do Conde de Aveiro	Sé	Sem dados	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
H	Palácio do Marquês de Távora	Sé	Pouco ou nenhum dano	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
I	Palácio do Conde de Coculim	São João da Praça	Colapso parcial	Colapso parcial	Pouco ou nenhum dano
J	Palácio do Conde de Vila-Flor	São João da Praça	Colapso total	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
K	Palácio do Marquês de Angeja	São João da Praça	Colapso parcial	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
L	Forte de S. Paulo	São Paulo	Sem dados	Sem dados	Pouco ou nenhum dano
M	Palácio dos Corte Real	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
N	Casa da Ópera	São Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Pouco ou nenhum dano
O	Casa da Moeda	São Paulo	Pouco ou nenhum dano	Pouco ou nenhum dano	Pouco ou nenhum dano

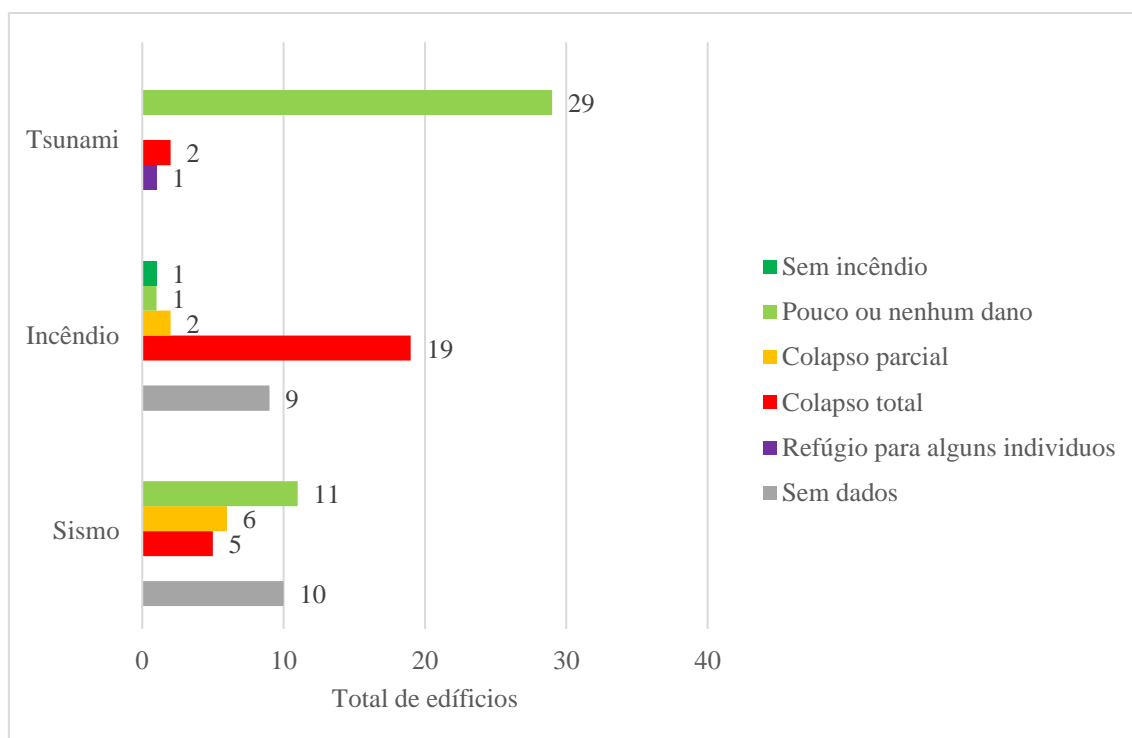


Figura 18: Total de igrejas ou outros edifícios afetados por classificação dos danos e fenómeno causante.

Em alguns casos os relatos apontam para outro tipo de situações que não são englobadas nesta classificação ou são mais concretas relativamente ao impacto dos fenómenos nos edifícios. Nestes casos foi dada excecionalmente outra classificação: a Igreja de S. Paulo (#1) é referida nos relatos por ter sido utilizada como refúgio para alguns indivíduos que fugiam do tsunami, não tendo por isso registado danos significativos provocados pelo mesmo; os relatos sustentam que a Igreja de S. Miguel (#10) não terá registado incêndio, tendo sido dada uma classificação que aponta para a ausência de danos no edifício provocados pelo fenómeno. Em todo o caso, para muitos dos edifícios, não foram, para este trabalho, encontradas referências para uma classificação dos danos diferenciada por fenómeno. Esta dificuldade sugere a necessidade de estudos subsequentes desta temática, que completem e aperfeiçoem esta compilação. Para os edifícios em que esta situação se verificou foi dada a classificação “sem dados”.

Esta classificação foi alargada para as freguesias históricas aproximadamente contemporâneas destes edifícios, procurando estabelecer o impacto geral dos diversos fenómenos em cada uma (Tabela 9 e Figura 19).

Tabela 9: Impacto do sismo, incêndio e tsunami em cada freguesia da área de estudo.

Freguesia	Impacto do Sismo	Impacto do Incêndio	Impacto do Tsunami
Madalena	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Sem dados
S. João da Praça	Colapso total	Colapso total	Sem dados
S. Julião	Pouco ou nenhum dano	Colapso total	Colapso parcial
S. Miguel	Colapso parcial	Pouco ou nenhum dano	Sem dados
S. Paulo	Colapso total	Colapso total	Colapso parcial
Santa Maria Maior (Sé)	Colapso total	Colapso total	Sem dados

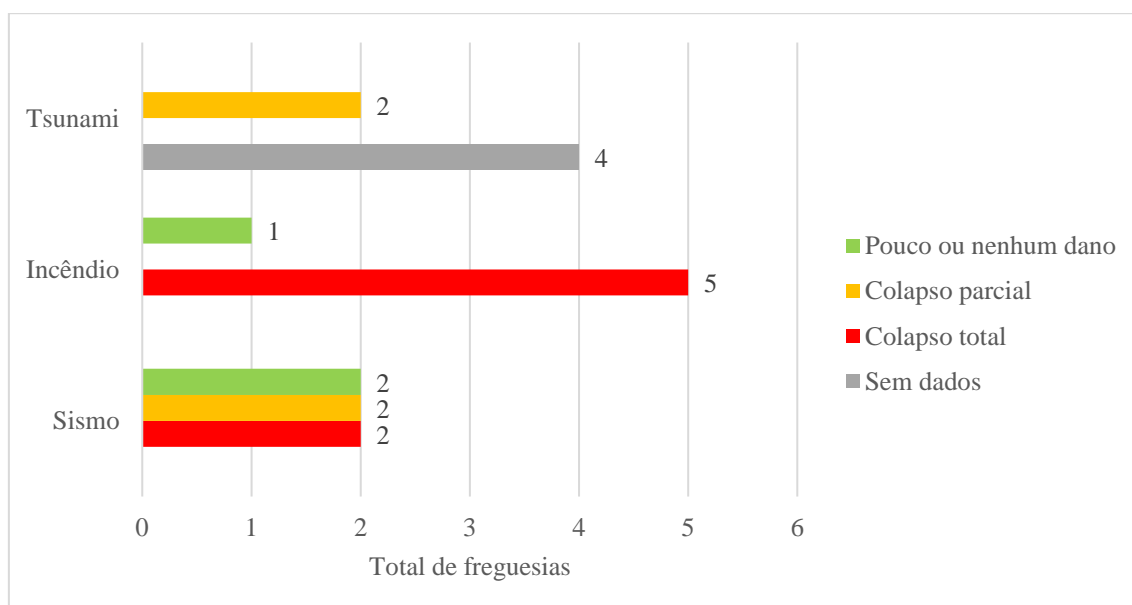


Figura 19: Total de freguesias afetadas por classificação dos danos e fenómeno causante.

O impacto do sismo nas diversas igrejas, ermidas e restantes edifícios, bem como nas seis freguesias que constituem a área de estudo, é apresentado na Figura 20. A figura sugere que o impacto do sismo foi, apesar de tudo, não muito significativo. Apenas 5 edifícios registaram muitos danos e / ou colapso total, estando 60 % destes localizados nas freguesias da Sé e de S. João da Praça, as únicas duas freguesias que registaram colapso total generalizado dos seus edifícios provocado pelo sismo. A estas duas primeiras freguesias opõem-se as freguesias da Madalena e de S. Julião, imediatamente a oeste, onde, de uma forma geral, os edifícios registaram poucos ou nenhuns danos provocados pelo sismo.

Apesar disso, estes dados apontam, assim, que o sismo, isolado, terá sido menos severo do que o comumente referido. Como ilustram a Figura 18 e a Tabela 8, dos 32 edifícios analisados, 11 terão registado poucos ou nenhuns danos provocados pelo sismo, nomeadamente o Paço Real da Ribeira (#A), a Casa da Ópera (#N), a Alfândega do Tabaco (#C), a Casa da Moeda (#O), o

Palácio dos Corte Real (#M) e as igrejas da Madalena (#5), da Patriarcal (#2) e de Nossa Senhora da Misericórdia (#7). Todavia, igual número de edifícios terá apresentado colapso parcial ou total, sendo desconhecido o estado em o sismo terá deixado 10 dos edifícios.

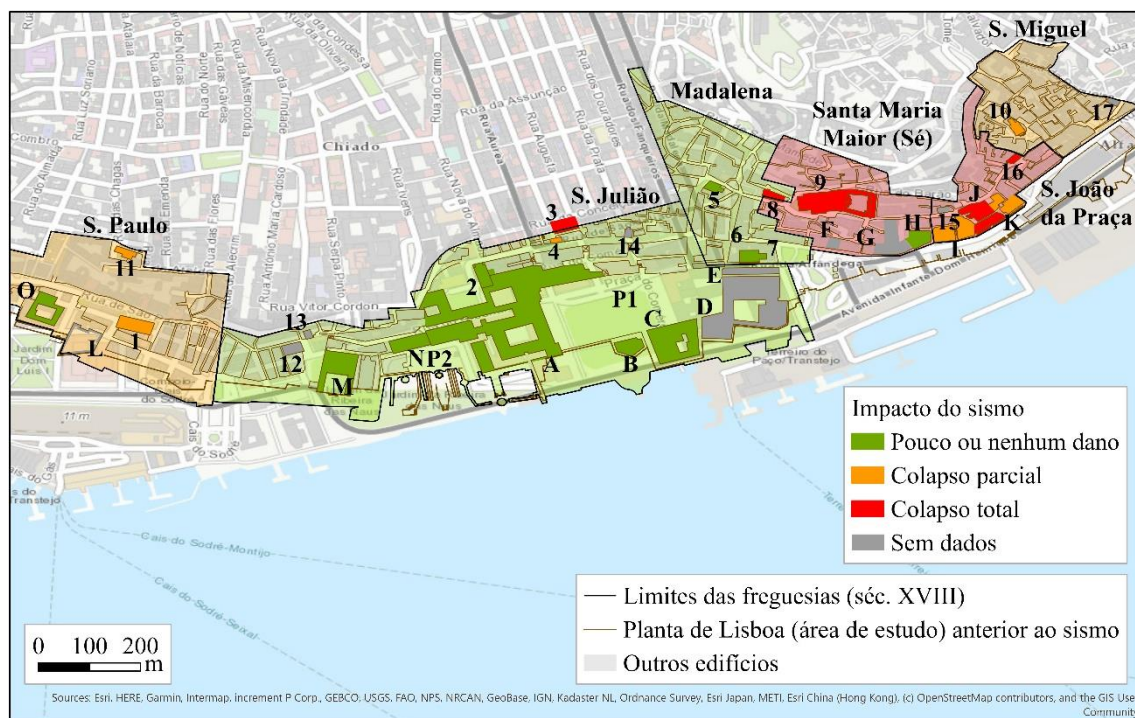


Figura 20: Classificação dos danos provocados pelo sismo em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos *et al.* (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Segundo uma testemunha britânica, o cais principal da cidade, designado de “Cais da Pedra”, provavelmente localizado em frente à Alfândega do Tabaco (#C) e que tinha sido recentemente construído em mármore unido por ferros apresentando-se resistente, terá sido afundado na totalidade aquando do sismo (Mineiro, 2005). O mesmo salienta João B. de Castro em 1870, segundo afirma Vieira da Silva (1987b). Este estava localizado numa saliência da muralha que passava a sul do Terreiro do Paço, junto do Forte da Vedoria (#B) e da alfândega (Moreira de Mendonça, 1758, citado por Vieira da Silva, 1987b). Confirmando-se os resultados e esta primeira descrição, o Cais da Pedra teria sido totalmente destruído pelo sismo, embora este fenómeno poucos danos tenha trazido à Alfândega do Tabaco (#C). Em todo o caso, desconhecem-se os danos provocados pelo sismo, isoladamente, na Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), também nas proximidades do Cais da Pedra.

A Igreja do Convento dos Dominicanos Irlandeses (#12) constitui um dos edifícios para os quais não se conhecem os danos provocados ao certo pelo sismo. Todavia, Vieira da Silva (1987b), citando Baptista de Castro (1870), acrescenta que o “terremoto do primeiro de novembro memorável”, que poderá dizer respeito ao sismo isoladamente ou ao evento no geral como sucede diversas vezes, terá deixado a igreja em ruínas e cinzas. Situação semelhante sucede com o Terreiro do Trigo (#E) que terá sido destruído (Vieira da Silva, 1987b), embora não tenha sido possível perceber se a sua destruição terá sido provocada pelo sismo e/ou pelo incêndio. Contudo, dada as arcadas da sua estrutura poderá ter sido em grande medida afetado pelo sismo.

Ainda é importante referir que apesar do elevado número de edifícios com poucos ou nenhuns danos, de entre as 17 igrejas ou ermidas, apenas 4 se encontram nesta categoria, sendo 5 aquelas para os quais não se encontraram dados. No que respeita aos outros edifícios, 7 de 15 estão inseridos nesta categoria, de entre outros 5 para os quais não foram encontradas informações. As igrejas foram os edifícios que se apresentaram mais danificados no geral, 4 dos quais com colapso parcial (e.g. igrejas de S. Paulo (#1) e de S. Miguel (#10)) e outros 4 destruídos (e.g. Igreja de Sto. António da Sé (#8) e Basílica de Sta. Maria Maior (#9)). Esta informação parece indicar que as igrejas ou ermidas poderiam ser estruturas mais vulneráveis a este fenómeno. A conclusão semelhante chegou o estudo de França (1978, citado por Oliveira, 2005), onde foi realizada uma compilação do impacto do evento em 419 edifícios da cidade de Lisboa e arredores. Neste estudo concluiu-se que 48 % das igrejas e 12 % das ermidas terão colapsado por completo, face a apenas 30 % dos palácios em igual situação. Embora só 32 edifícios tenham sido estudados, para a área de estudo sinalizada, os resultados da presente dissertação levam a crer que aproximadamente 31 % das “igrejas” e 14 % dos “palácios” tenham, no mínimo, colapsado parcialmente devido ao sismo (Figura 21). As categorias “fortes”, “edifícios do reino” e “ermidas” não apresentaram edifícios nesta categoria, o que sugere que os edifícios localizados na área de estudo terão padecido menos pelo sismo que noutras áreas de Lisboa e arredores da cidade. Tal terá sucedido porque ao distanciar-se do centro da cidade, a densidade de edifícios tenderia a diminuir, decrescendo igualmente o apoio que as estruturas dariam umas às outras na ocorrência do sismo.

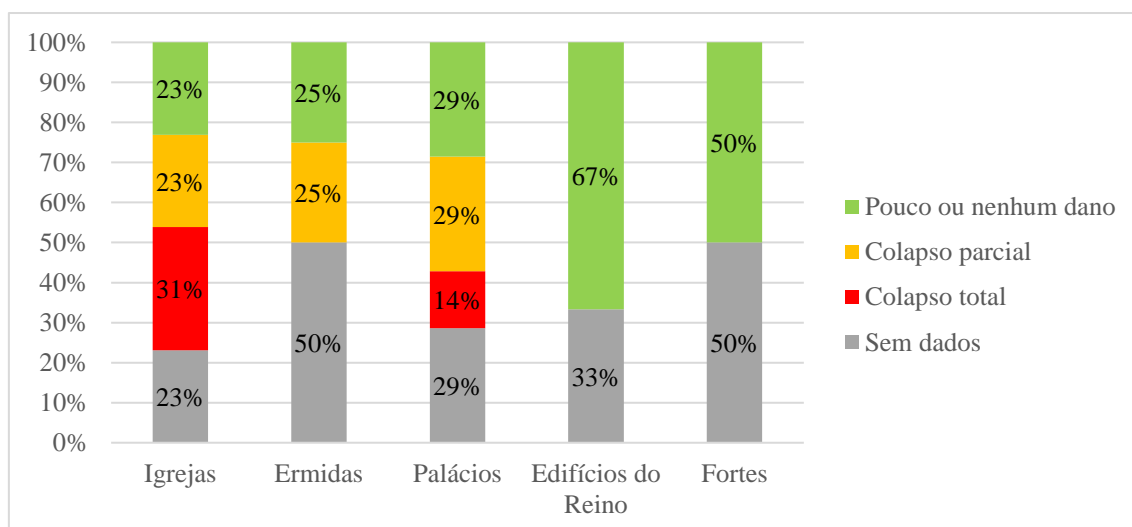


Figura 21: Impacto do sismo em 5 tipos de estrutura: igrejas, ermidas, palácios, edifícios do reino (Paço Real da Ribeira (#A), Alfândega do Tabaco (#C), Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), Terreiro do Trigo (#E), Casa da Ópera (#N) e Casa da Moeda (#O)) e fortalezas. Peso de cada classe de dano por tipo de estrutura.

Coelho (2005) refere que a resistência de uma estrutura a um sismo “depende da profundidade dos seus alicerces, do processo adoptado na construção, da natureza dos materiais, do estado de conservação, altura, orientação, se tem abobadas, da largura do vão delas e da sua espécie, etc.”. O mesmo autor acrescenta que, por isso, as igrejas terão sofrido mais danos que as ermidas, como apontava o estudo de França (1978, citado por Oliveira, 2005). Os resultados vão ao encontro desta ideia (Figura 21), sugerindo que de entre os dois tipos de edifícios apenas igrejas terão verificado colapso total, embora não se conheça o estado de 50 % das ermidas face a 23 % das igrejas.

De acordo com Oliveira (2005), edifícios que estivessem encostados a outros poderiam servir de apoio a estes (e vice-versa), dificultando o seu colapso. O apoio de outras estruturas poderá ter sido aspeto relevante que justifique os poucos danos em edifícios como a Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia (#7) e a Ermida de S. Sebastião da Padaria (#6).

Coelho (2005) e Mineiro (2005) destacam que na zona ribeirinha da cidade as construções terão sido fortemente danificadas, uma vez que esses solos possuíam, na sua composição, formações arenosas que poderão ter originado alguma liquefação sísmica (Mineiro, 2005). De acordo com a Figura 20, porém, os edifícios mais próximos do rio ou localizados junto a terreiros ribeirinhos não terá sofrido muito impacto referente ao sismo.

Apesar da intensidade do sismo ter sido de IX em Lisboa (e.g. Sousa (1928), Grandin *et al.* (2007)), o fenómeno que terá provocado maiores e mais danos na zona ribeirinha de Lisboa em 1755 terá sido o incêndio (Figuras 22 e 23). O incêndio terá contribuído em grande medida para a destruição, sobretudo dos recheios, das estruturas que teriam sido poupadas ao sismo

(Oliveira, 2005). O incêndio foi particularmente gravoso também porque os edifícios apresentavam, de forma geral, soalhos e coberturas em madeira (Oliveira, 2005). Estavam igualmente muito próximos uns dos outros, organizados por ruas muito estreitas (Oliveira, 2005), facilitando a propagação dos focos de incêndio.

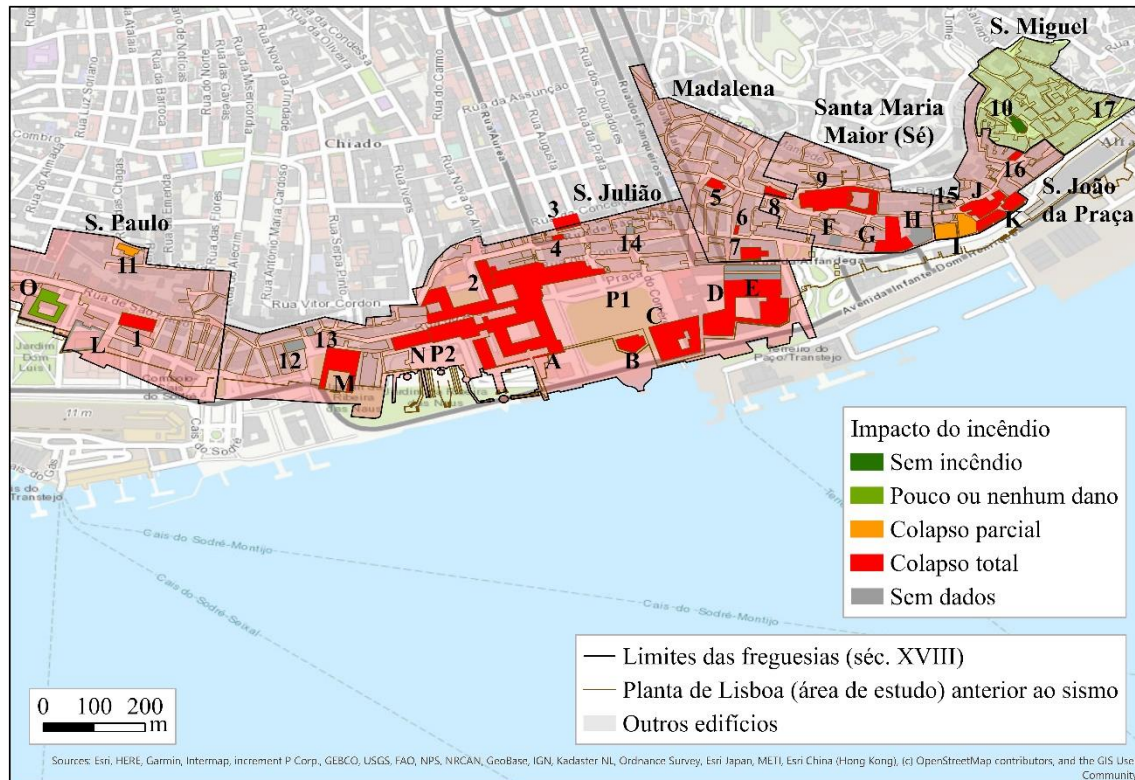


Figura 22: Classificação dos danos provocados pelo incêndio em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos *et al.* (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

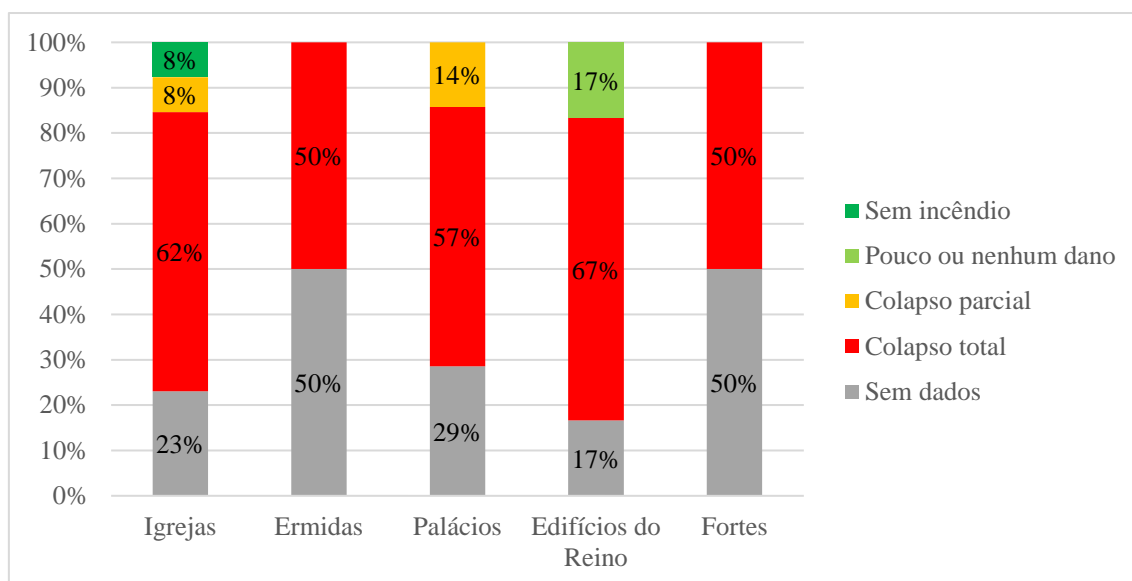


Figura 23: Impacto do incêndio em 5 tipos de estrutura: igrejas, ermidas, palácios, edifícios do reino (Paço Real da Ribeira (#A), Alfândega do Tabaco (#C), Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), Terreiro do Trigo (#E), Casa da Ópera (#N) e Casa da Moeda (#O)) e fortes. Peso de cada classe de dano por tipo de estrutura.

Pelos factos apurados, os resultados demonstram que o incêndio terá sido a grande causa para os danos verificados nesta zona e a razão pela qual muitos dos edifícios tiveram de ser reedificados embora não tendo sido destruídos pelo sismo. Dos 32 edifícios identificados aproximadamente 62 % das “igrejas”, 50 % das “ermidas”, 57 % dos “palácios”, 67 % dos “edifícios do reino” e 50 % dos “fortes” terão colapsado na sua totalidade devido ao incêndio (Figura 23). Por sua vez, das 6 freguesias objeto de estudo, apenas a freguesia de S. Miguel terá apresentado poucos ou nenhuns danos provocados pelo incêndio (Figura 22 e Tabela 9). Além da Igreja de S. Miguel (#10), onde não terá chegado o incêndio, apenas a Casa da Moeda (#O) terá apresentado danos com esta classificação.

Apesar de não se conhecer a situação de 9 edifícios de entre os 32, 19 edifícios terão ficado destruídos devido ao incêndio (Figura 22). As alfândegas (#C e #D) estão incluídas neste número. Segundo Mineiro (2005), muitos armazéns com produtos alimentares na cidade haviam “colapsado e sido consumidos pelo fogo”. Esta referência sugere que, embora não se conheçam dados concretos relativos ao impacto de sismo na Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D), este edifício juntamente com a Alfândega do Tabaco (#C) tenha apresentado grande grau de destruição face aos dos fenómenos referidos. Vieira da Silva (1987b) vai mais longe apontando que os diversos edifícios que circundavam o Terreiro do Paço (#P1) terão padecido ao incêndio, nomeadamente as duas alfândegas (#C e #D), o tribunal (#D) e o Forte da Vedoria (#B).

Outro destes edifícios corresponde à Igreja de S. Paulo (#1), já parcialmente colapsada devido ao sismo, e segundo a qual os relatos apontam que terão morrido queimados cerca de 3 dezenas

de indivíduos que utilizavam este templo para fugir do tsunami. Esta informação leva a crer que a população, em pânico, não sabia para onde fugir, tendo escolhido locais como refúgio que já se encontravam parcialmente destruídos (e cujos objetos e estruturas estariam ainda instáveis) e possíveis de ainda serem danificados pelos incêndios que já corriam na cidade. O Palácio do Conde de Coculim (#I) e a Igreja das Chagas (#11) terão sido os únicos destes 32 edifícios apenas parcialmente danificados / colapsados devido ao incêndio.

O tsunami, por sua vez, de acordo com relatos históricos, não terá causado danos significativos nos edifícios da zona ribeirinha da cidade (Figura 24). De entre os 32 edifícios identificados, somente o Forte da Vedoria (#B) e a Alfândega do Tabaco (#C) terão sido destruídos pelo tsunami, embora os mesmos tenham sido já alvo de grande destruição provocada pelo incêndio. Estes dois edifícios destacam-se como sendo algumas das estruturas mais próximas do rio e de menor altura, constituindo-se, por isso, dois dos edifícios mais vulneráveis a este fenómeno.

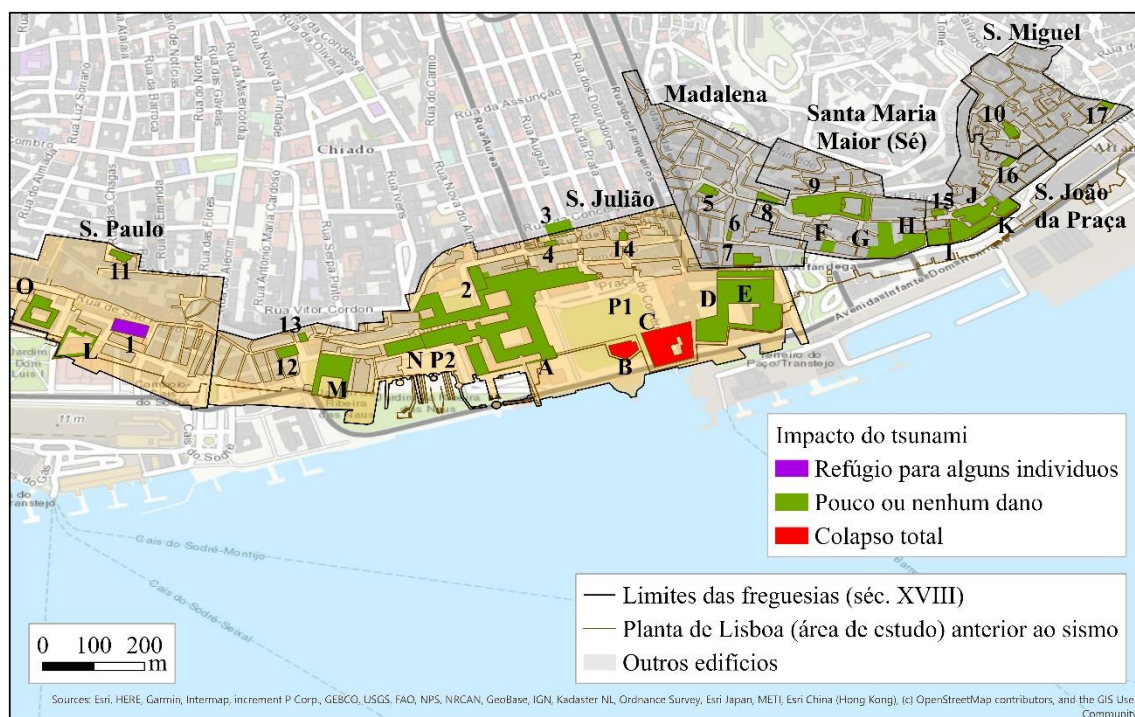


Figura 24: Classificação dos danos provocados pelo tsunami em igrejas, ermidas e outros edifícios da área de estudo e impacto geral do mesmo em cada freguesia, adaptado de Santos *et al.* (2019). As abreviações P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Apesar de não terem sido obtidas informações concretas com base em relatos históricos relativos ao impacto de cada um dos fenómenos em diversos edifícios, o trabalho de campo permite um melhor entendimento do sucedido a estes edifícios. A Figura 25 e Tabela 10

apresentam os pontos levantados durante o trabalho do campo e o edifício ou local anterior ao evento correspondente aos mesmos.



Figura 25: Locais visitados no campo para os quais foram recolhidas as coordenadas (latitude e longitude) e a altitude com GPS, assim como fotografias.

Tabela 10: Pontos levantados durante o trabalho de campo e respectivas coordenadas (latitude e longitude) em graus decimais, altura, precisão horizontal e vertical e número de satélites utilizados na recolha. Edifício ou local anterior ao evento mais próximo dos pontos assinalados (número/letra de acordo com Tabelas 7 e 8, Cap. 4.1.).

Local	Nome	Lat. (DD)	Long. (DD)	Altura (m)	Prec. H (m)	Prec. V (m)	Satélites
i	#14	38,70894	-9,136155	-4,20	5,034	8,657	4
ii	Terreiro do Paço (#P1)	38,70846	-9,136255	4,08	0,971	1,329	7
iii		38,70787	-9,136561	3,59	0,705	1,092	9
iv	#B	38,70705	-9,136267	3,63	0,704	1,073	9
v	#D	38,70712	-9,134576	3,80	0,700	1,044	9
vi	#A	38,70624	-9,138501	3,58	0,613	0,936	10
vii	Ribeira das Naus (#P2)	38,70647	-9,139058	4,25	0,823	1,297	8
viii		38,70595	-9,140575	3,84	0,762	1,125	9
ix	#M	38,70594	-9,141152	4,30	0,753	1,101	9
x		38,70678	-9,14172	4,76	0,792	1,230	8
xi	#12; #13	38,70723	-9,142207	6,23	3,236	3,271	4
xii		38,70721	-9,141932	14,86	1,830	2,538	5
xiii	#N	38,70747	-9,140486	13,32	4,698	1,301	5
xiv	#A	38,70795	-9,139268	16,56	1,605	2,307	6
xv	#2	38,70827	-9,139045	9,29	1,637	2,323	5
xvi	#3; #4	38,70919	-9,137139	19,83	1,223	1,699	6
xvii	#14	38,70925	-9,136354	46,09	1,098	1,595	7
xviii	#O; #L	38,70744	-9,14642	3,78	1,309	2,103	6
xix	#1	38,70785	-9,145028	9,83	1,367	3,232	5
xx		38,70773	-9,14467	8,92	2,126	2,452	5
xxi	#11	38,70914	-9,14531	48,83	1,062	2,580	6
xxii	#F	38,70891	-9,132675	5,32	1,002	1,340	7
xxiii	#E	38,70847	-9,133206	6,09	1,024	1,497	7
xxiv	#7	38,7088	-9,134182	-1,32	2,401	2,839	5
xxv	#6	38,70924	-9,134471	22,98	1,354	1,659	6
xxvi	#5	38,71013	-9,135055	29,12	2,139	3,898	5
xxvii	#8	38,71014	-9,134182	25,79	1,519	1,562	6
xxviii	#9	38,70985	-9,133627	24,09	1,289	1,474	6
xxix	#9	38,70955	-9,132919	26,46	0,948	1,478	7
xxx	#H	38,7094	-9,131384	35,15	0,956	1,489	7
xxxi	#15	38,70979	-9,13042	16,16	1,337	1,429	6
xxxii	#16	38,71045	-9,129728	14,57	0,814	1,141	8
xxxiii	#10	38,71101	-9,129252	15,33	2,340	2,047	5
xxxiv	#17	38,71161	-9,127587	15,42	2,908	4,628	4
xxxv		38,71126	-9,127821	4,88	0,977	1,428	7
xxxvi	#E	38,71052	-9,128392	7,10	0,973	1,387	7
xxxvii		38,70994	-9,128639	5,17	0,814	1,281	8
xxxviii	#K	38,7097	-9,1294	4,39	1,221	1,398	6
xxxix	#J	38,70941	-9,12962	5,09	0,879	1,085	8
xl		38,70922	-9,129935	5,70	0,875	1,068	8
xli	#I	38,70908	-9,13045	4,37	0,972	1,405	6
xlii	#H	38,70901	-9,130863	4,94	2,207	1,329	7
xliii	#G	38,70878	-9,131427	4,38	0,925	1,177	7

Um destes edifícios corresponde à Casa dos Bicos (#F), edifício para o qual não foram encontradas informações que indiquem o impacto do sismo e do incêndio no mesmo, apenas sugerindo que terá tido poucos ou nenhuns danos causados pelo tsunami. No portal Lisboa Interativa da Câmara Municipal de Lisboa é referido que o edifício terá perdido os seus dois pisos superiores, de um total de 4, aquando do evento. Em concordância com esta informação, no início do séc. XX, segundo é ilustrado em Proença (1991,301), o edifício apresentava somente dois pisos. Aquando do trabalho de campo foi possível verificar que o edifício ainda existe, está situado no mesmo local e apresenta 4 pisos, embora os dois pisos superiores apresentem janelas muito dispares dos inferiores, tanto em formato como em material (Figura 26). Se o tsunami não provocou muitos danos no edifício, apenas um ou os restantes dois fenómenos terão provocado a destruição parcial do edifício.



Figura 26: Casa dos bicos (#F) na atualidade com os dois pisos superiores reconstruídos. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019.

Além do que respeita à Casa dos Bicos (#F), o trabalho de campo permitiu verificar também que a porta da Ermida de N. S.^a dos Remédios (#17) é de estilo manuelino (Figura 27). O mesmo é referido em (Proença, 1991), onde é inclusivamente apontado que a ermida terá sido muito

danificada aquando do evento. Embora não se conheça ao certo os fenómenos que desencadearam os danos referidos, a prevalência da porta “manuelina” leva a crer que talvez este seja o único elemento que restou da construção original.



Figura 27: Porta “manuelina” da Ermida de N. S.^a dos Remédios (#17) na atualidade. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019.

Iconografias (da Cunha, 1922; Le Bas & Pedegache, 1757a, 1757b, 1757c) revelam que no caso de diversos destes edifícios, algumas partes terão resistido ao evento (Figura 28). A Casa da Ópera (#N) e a Igreja de S. Paulo (#1) apresentam-se totalmente destruídas nas respetivas iconografias (Figuras 28A e 28B). A Basílica de Sta. Maria Maior (#9) surge fortemente colapsada (Figura 28C). Neste caso, bem como na grande maioria das estruturas representadas em iconografias, o desabamento do teto é evidente. Isto sucede sobretudo em Igrejas, os edifícios proporcionalmente mais afetados pelo sismo, cujos tetos são altos, compridos e com poucos alicerces. A fachada oeste do Paço Real da Ribeira (#A) (Figura 28D), por sua vez, aparenta na iconografia ter resistido ao evento, embora seja aparente a destruição de grande parte da sua estrutura para dentro e para norte da referida fachada.



Figura 28: Iconografias do impacto do evento de 1755 em diversos edifícios: (A) Pintura da Casa da Ópera (#N) (Le Bas & Pedegache, 1757b); (B) Pintura da Igreja de S. Paulo (#1) (Le Bas & Pedegache, 1757c); (C) Pintura da Sé (#9) (Le Bas & Pedegache, 1757a); e (D) Cópia do desenho da parte mais nobre do Palácio Real (#A) (da Cunha, 1922).

4.4. Modelo tridimensional da área de estudo antes do sismo

A representação tridimensional constitui uma outra perspetiva do local que permite que seja mais fácil perceber e visualizar a extensão horizontal do tsunami e os locais que apresentaram, consequentemente, maiores danos. Foi igualmente relevante na medida que forneceu indicações da possível altura dos terreiros e dos edifícios anteriores ao evento.

O modelo tridimensional obtido apresentou-se com boa qualidade quando visualizado de oeste, este e a partir do rio, na medida que é menor a densidade de edifícios, estruturas e sombras que trazem ruído à representação (Figura 29). Todavia, o mesmo não sucede quando o modelo é visualizado de norte ou quando, devido ao formato dos módulos da maquete, as fotografias obtidas captaram os objetos a grande distância. O mesmo sucede nos extremos da maquete, devido à menor densidade da nuvem de pontos (Figura 30). Nestes casos, a qualidade do modelo é baixa e é muitas vezes impercetível as características dos edifícios. À semelhança do referido no capítulo anterior, a qualidade dos resultados obtidos com o modelo será, mesmo quando perspetivada do rio, sempre inferior à produzida noutros ambientes programáveis (e.g. CityEngine e OpenSimulator (Gago da Câmara *et al.*, 2012; Murteira *et al.*, 2017; Murteira & Rodrigues, 2016)).

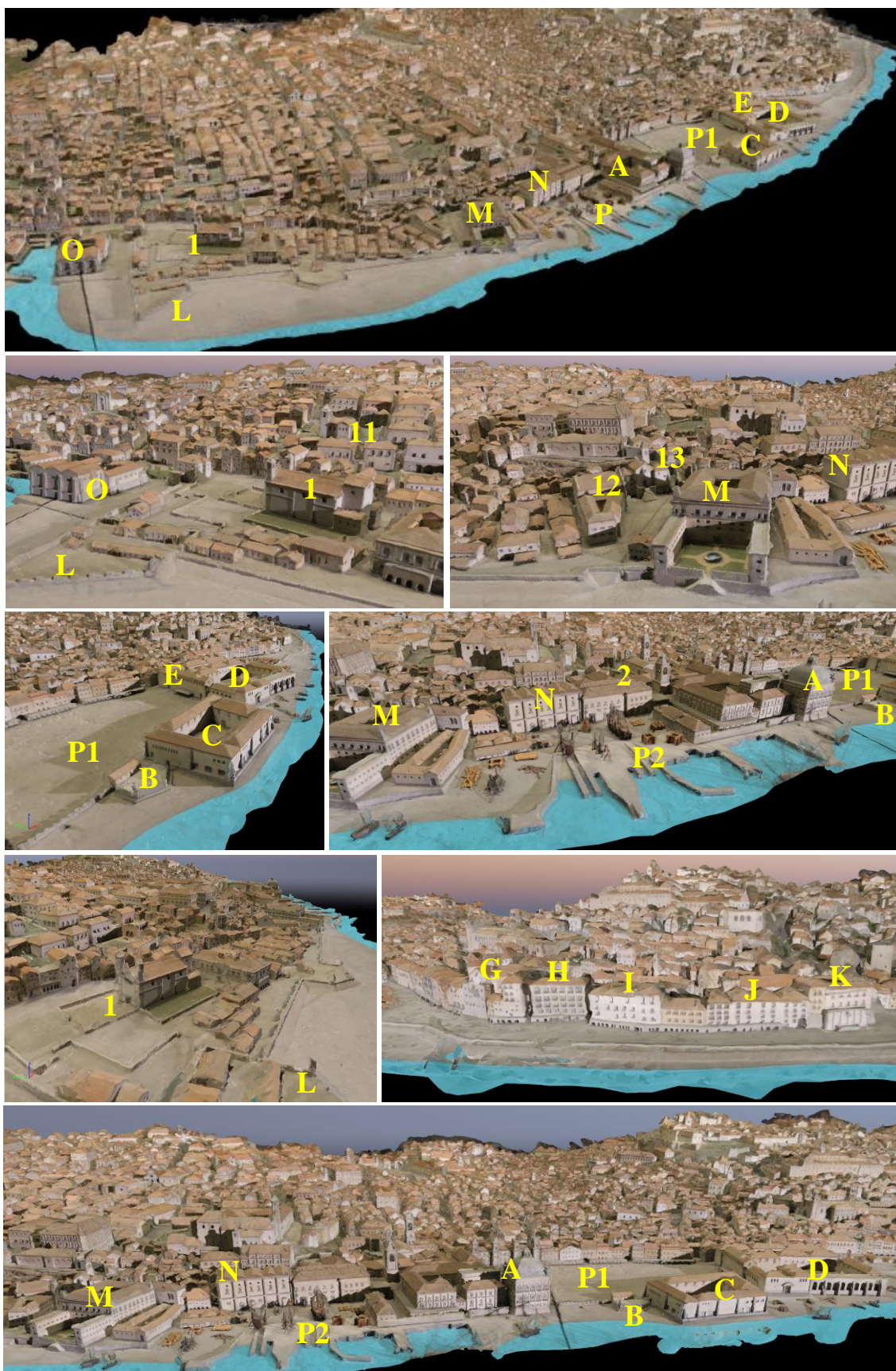


Figura 29: Modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento realizado em ambiente Pix4D. Numeração e letras de acordo com as Tabelas 12 e 13, Cap. 4.1. As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente.

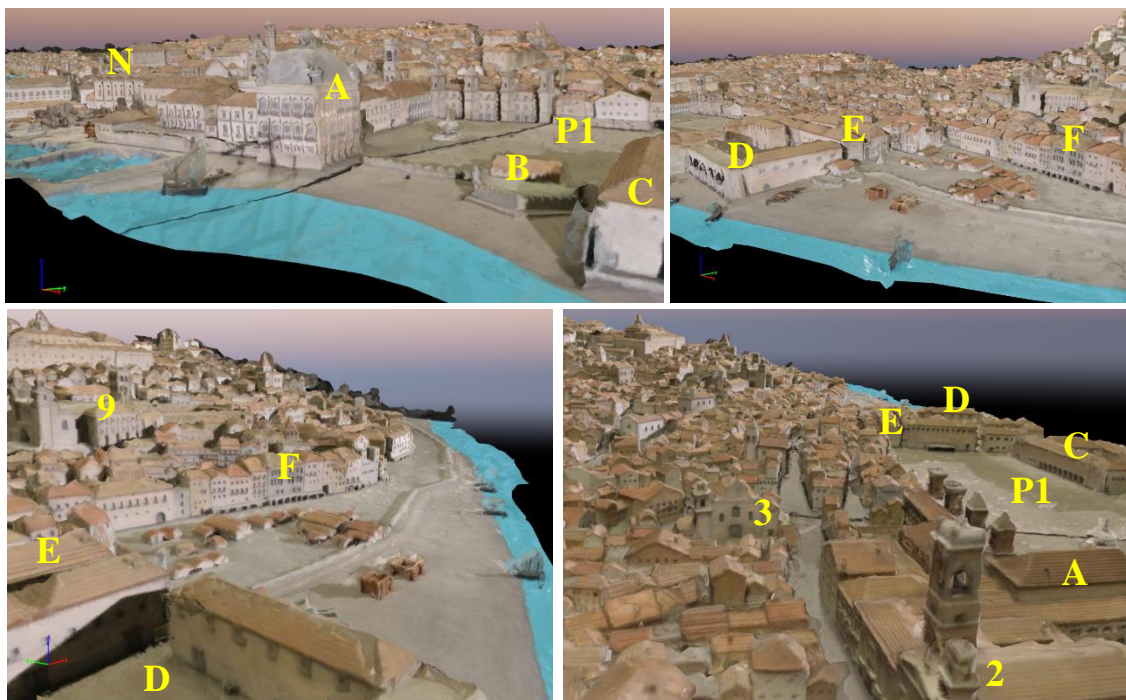


Figura 28 (CONTINUAÇÃO): Modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento realizado em ambiente Pix4D. Numeração e letras de acordo com as Tabelas 6 e 7, Cap. 4.3. As abreviações P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente.



Figura 30: Modelo tridimensional de Lisboa pré-terramoto com o Pix4D: Fraca qualidade da malha tridimensional no extremo este da área de estudo, devido à baixa densidade da nuvem de pontos na área (em resultado da escassez de fotografias).

De forma a procurar corrigir parte destas imperfeições foi realizada uma edição do modelo recorrendo ao mesmo *software*, como especificado no capítulo anterior. Este permitiu aperfeiçoar os limites dos edifícios e outros elementos e eliminar algum ruído produzido na malha tridimensional (Figura 31A e 31D). Todavia, não foi possível uma definição mais precisa das fachadas, claustros e outros detalhes dos edifícios, como estabelecer uma coloração mais realista aos mesmos, devido à ausência de fotografias que pudessem fazer esta correspondência corretamente provocada pelas dificuldades sentidas na captação inicial das imagens referidas anteriormente. Este é o caso dos claustros do Palácio Real (#A) e das alfândegas (#C e #D), onde a impossibilidade de tirar fotografias de vista aérea destes objetos na maquete levou a

fraca qualidade destes conteúdos no modelo (Figura 31C), qualidade esta difícil de melhorar por edição.

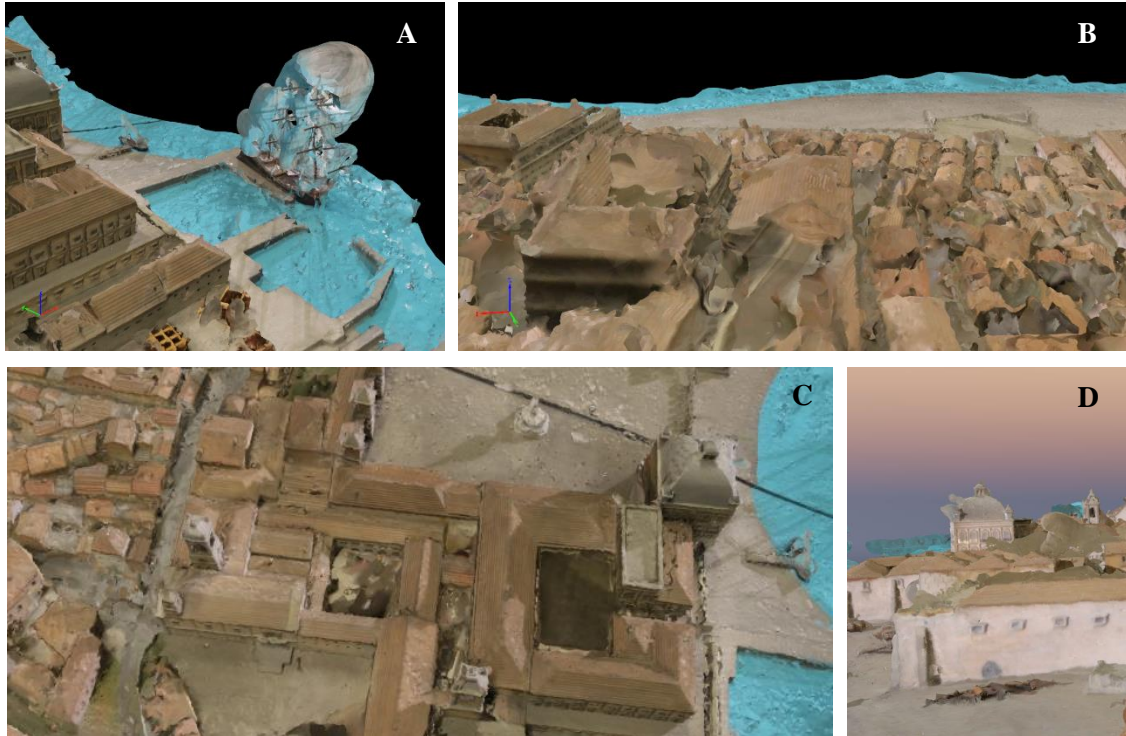


Figura 31: Exemplos de imperfeições na malha tridimensional: (A) incorreções nos limites dos objetos; (B) malha com elevadas imperfeições visto de norte do território representado na maquete porque as fotografias foram recolhidos a maior distância dos objetos, as sombras eram superiores e os edifícios estavam muito juntos entre si; (C) ausência de fotografias que mostrem os claustros de cima provoca imperfeições na malha nessas áreas; e (D) incorreções nos limites dos edifícios.

A dificuldade em captar fotografias de tipo aéreo dos diferentes objetos levou a que o mosaico de vista aérea obtido através do modelo não apresentasse ótimos resultados (Figura 32). Os melhores resultados foram obtidos junto do Terreiro do Paço (#P1), onde a sobreposição de pontos detetados nas diversas fotografias é superior.

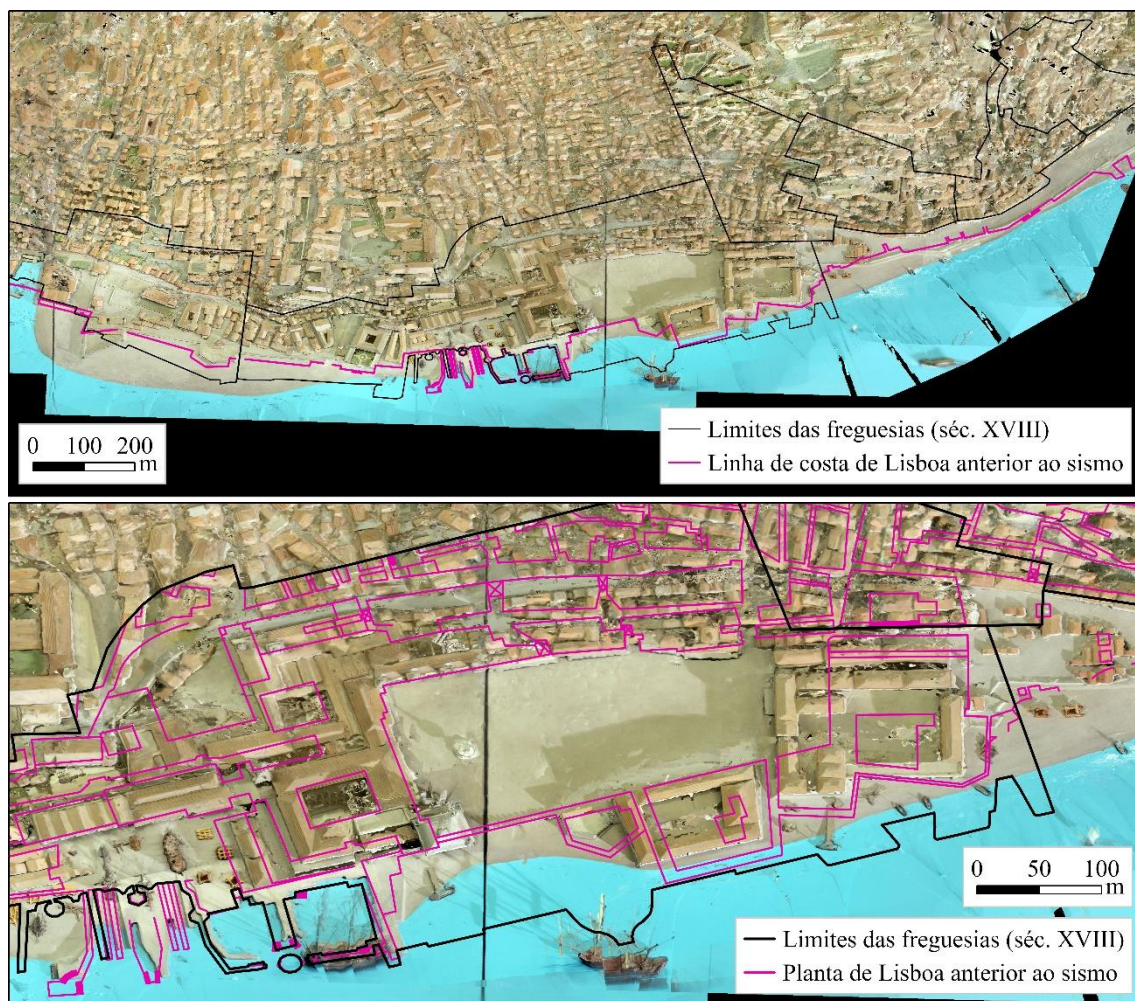


Figura 32: Vista aérea do modelo tridimensional da zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento realizado em ambiente Pix4D (em cima). Cruzamento de diferentes configurações da planta da cidade anterior ao evento (em baixo): modelo tridimensional em Pix4D versus planta com base em Ribeiro (1949). Os limites das freguesias têm por base Monteiro de Carvalho (n.d.).

A Figura 32, onde é representado este mosaico, demonstra também que a planta representada na maquete apresenta alguma discrepância com a planta apresentada no WebSIG, embora esta última esteja presente em diversa cartografia histórica, como referido em capítulos anteriores.

Em todo o caso, o modelo permitiu que pudessem ser comparadas ambas as plantas em ambiente SIG e que, apesar dos valores não poderem ser tipos em conta, possa ser avaliada em termos relativos a topografia do território representado através da maquete.

O modelo permitiu, igualmente, que fossem perceptíveis os diversos detalhes dos edifícios que constituíam o Terreiro do Paço e as suas imediações aquando do evento, nomeadamente a altura dos mesmos, importante para a averiguação da extensão da área inundada pelo tsunami. Por fim, o modelo permite que a zona ribeirinha da cidade de Lisboa anterior ao evento, em particular o

Terreiro do Paço, possa ser visualizada tridimensionalmente *online* ou por visitantes do Museu de Lisboa de uma forma virtual e mais interativa.

4.5. Modelo numérico do tsunami de 1755 na zona ribeirinha de Lisboa

O Modelo Digital do Terreno da região de Lisboa desenvolvido permitiu fazer uma reconstituição da topografia local no séc. XVIII. Tendo como base este modelo construído no âmbito da presente dissertação, foi desenvolvido por Santos *et al.* (2019) um modelo numérico do tsunami de 1755 na zona ribeirinha de Lisboa. Para o desenvolvimento deste modelo foi considerado a Banco de Gorringe como origem do sismo, assim como as fórmulas Okada (Santos *et al.*, 2019). A metodologia aplicada para o construção do modelo numérico do tsunami de 1755 em Lisboa é detalhada em Santos *et al.* (2019). Uma vez que o Modelo Digital do Terreno elaborado neste trabalho serviu de base à elaboração do modelo numérico anteriormente referido, são de seguida apresentados os principais resultados obtidos a partir do mesmo.

De acordo com o modelo numérico do tsunami elaborado para Lisboa (Santos *et al.*, 2019), a primeira onda terá atingido a zona ribeirinha da cidade 60 minutos após o início do sismo (Figura 33), à semelhança do que relataram diversas testemunhas. Vindo da foz do Tejo, a oeste da área de estudo, o tsunami começa por atingir a freguesia de S. Paulo, inundando toda a área circundante à Casa da Moeda (#O), ao Forte de S. Paulo (#L) e à Igreja de S. Paulo (#1). O tsunami inunda, igualmente, os terreiros junto ao rio a oeste do Palácio dos Corte Real (#M).

Cinco minutos após a chegada da primeira onda (Figura 33), já grande parte da zona ribeirinha da cidade de Lisboa estava inundada (Santos *et al.*, 2019). Após 65 minutos do início do sismo, o tsunami já tinha penetrado e coberto uma parte considerável do Terreiro do Paço (#P1) (Santos *et al.*, 2019), passando por cima de estruturas com menor altura como o Forte da Vedoria (#B), assim como atingido a fachada frontal dos Palácios do Conde de Aveiro (#G) e do Marquês de Távora (#H). Neste momento, as ruas e terreiros ribeirinhos até cerca de 150 metros de distância da linha do rio na freguesia de S. Paulo, assim como o terreiro em frente aos anteriores palácios a uma distância de aproximadamente 30 metros do curso de água, apresentava uma inundação na ordem dos 5 metros de altura. Desde a primeira onda, o Forte da Vedoria (#B) e a Alfândega do Tabaco (#C) apresentam-se no “caminho” do tsunami, sendo fortemente afetados. Segundo as estimativas realizadas da altura dos edifícios, tendo também em consideração a maquete, o Forte da Vedoria (#B) apresentaria uma altura baixa, não muito distinta   da inundação que chegou próxima dos 3 metros (Santos *et al.*, 2019).

A presença de inundação do Terreiro do Paço (#P1), da “Alfandega” (#C e/ou #D) e do Forte da Vedoria (#B)   mencionada por uma testemunha histórica (Mineiro, 2005; Oliveira, 2005). Oliveira (2005) assume, assim, que entre a Ribeira das Naus (#P2), em frente à Casa da  pera (#N), e a Alfândega do Tabaco (#C) tudo terá sido inundado.

Embora alguns relatos históricos refiram a passagem de três ondas pelo Terreiro do Paço (#A) (Oliveira, 2005; Santos & Koshimura, 2015), outros somente referem duas. Segundo o modelo numérico, a esta onda adicionam-se uma segunda de pouca relevância, que chega meia hora depois da primeira e que não terá apresentado uma inundação superior a 2 metros de altura, e uma terceira mais significativa que atinge a zona ribeirinha 40 minutos após a chegada da segunda. Meia hora após a chegada da terceira onda   possível fazer uma avaliação da área inundada pelo tsunami de 1755 em Lisboa. A  rea inundada aproxima-se da Igreja de S. Julião (#3), localizada no limite da freguesia com o mesmo nome, chegando à rua Nova dos Ferros, onde a topografia e o Terreiro do Paço (#P1) permitem que a água penetre mais para o interior da cidade (aproximadamente 325 metros). Aquando da existência de colinas, como nas freguesias de S. Paulo, S  e S. João da Praça, a área inundada não se estende além do terreiro próximo do rio, constituindo uma das poucas exceções as ruas históricas onde hoje se situam, sensivelmente, a Rua do Corpo Santo e a Rua de S. Paulo (esta última com a mesma designação na planta da freguesia de S. Paulo (1756-1768) de Monteiro de Carvalho (n.d.)).

Em todo o caso, de acordo com Vieira da Silva em *As Muralhas da Ribeira de Lisboa (Volume I)*, diversas partes da Cerca Fernandina junto ao limite norte do Terreiro do Paço (#P1) já não existiriam ou constituíam paredes ou fundos de casas. Em 1755, o limite norte do Terreiro do Paço (#P1) seria em grande medida constituído por fachadas de casas, que dariam igualmente

para uma rua paralela ao terreiro do lado interior da cidade, “passando por cima da muralha” (Vieira da Silva, 1987c,56-57). No entanto, entre estas casas ainda seriam visíveis e operacionais as diferentes entradas da muralha em arco. Estes arcos apresentavam também eles casas por cima (Vieira da Silva, 1987c). Igualmente escondida ficava a muralha junto da Casa da Ópera (#N), onde era contígua com edifícios a norte do mesmo (Vieira da Silva, 1987d). Para que o Palácio Real (#A) apresentasse fachada sobre o Terreiro do Paço (#P1), a sua construção terá se sobreposto também ao troço da muralha que passava no local (Vieira da Silva, 1987d).

No que respeita à Muralha Fernandina, Vieira da Silva (1987c) refere que um dos arcos de entrada da muralha no Terreiro do Paço (#P1) – o Arco / Porta dos Pregos – terá sido destruído pelo incêndio na sua totalidade. Esta referência leva a crer que a muralha no local tivesse colapso, seja por ação do sismo ou do incêndio, pelo que a sua capacidade de barreira ao tsunami terá sido inferior, só através dos blocos já colapsos. Aquando da sua construção, no séc. XIV, a muralha apresentava até, aproximadamente, 8 metros de altura em alguns dos seus fragmentos (Ribeiro & Policarpo, 2015). Mesmo que a muralha se tivesse mantido perante o evento nos vários troços em que surge na área de estudo esta teria sido pouco relevante enquanto barreira. Efetivamente, apesar da sua altura, junto do Terreiro do Paço (#P1) e noutros troços, a muralha teria sido já sobreposta por edifícios que excediam a sua altura.

Além destas muralhas existia ainda também a “Muralha de D. Diniz”, mais antiga e mandada construir pelo rei com o mesmo nome (Vieira da Silva, 1987c). Contudo, em 1755 a mesma estava “escondida” entre os vários edifícios localizados entre a rua da Confeitaria e a rua Nova dos Ferros (Vieira da Silva, 1987c), primeira e segunda rua imediatamente a seguir ao Terreiro do Paço (#P1) para norte, respetivamente. Esta era mais recuada para o interior da cidade que a Muralha Fernandina, mais recente, do final do séc. XIV, que se encontrava em 1755 entre os edifícios da rua da Confeitaria e o Terreiro do Paço (#P1) (Vieira da Silva, 1987c).

Estes resultados levam a crer que se os indivíduos que se refugiaram na Igreja de S. Paulo (#1) tivessem fugido mais para cima da colina rumo à Igreja das Chagas (#11), os mesmos poderiam ter sobrevivido (Santos *et al.*, 2019). Esta igreja, apenas parcialmente afetada pelo sismo e pelo incêndio, não terá apresentado nenhum dano relativo ao tsunami dada a altitude a que se encontrava (Figura 34). De acordo com os dados obtidos em campo, a localização da Igreja das Chagas (#11) estará acima dos 40 metros de altitude, não podendo ter sido atingida pelo tsunami como indicam os resultados do modelo numérico. Este seria, por isso, um local de evacuação seguro.

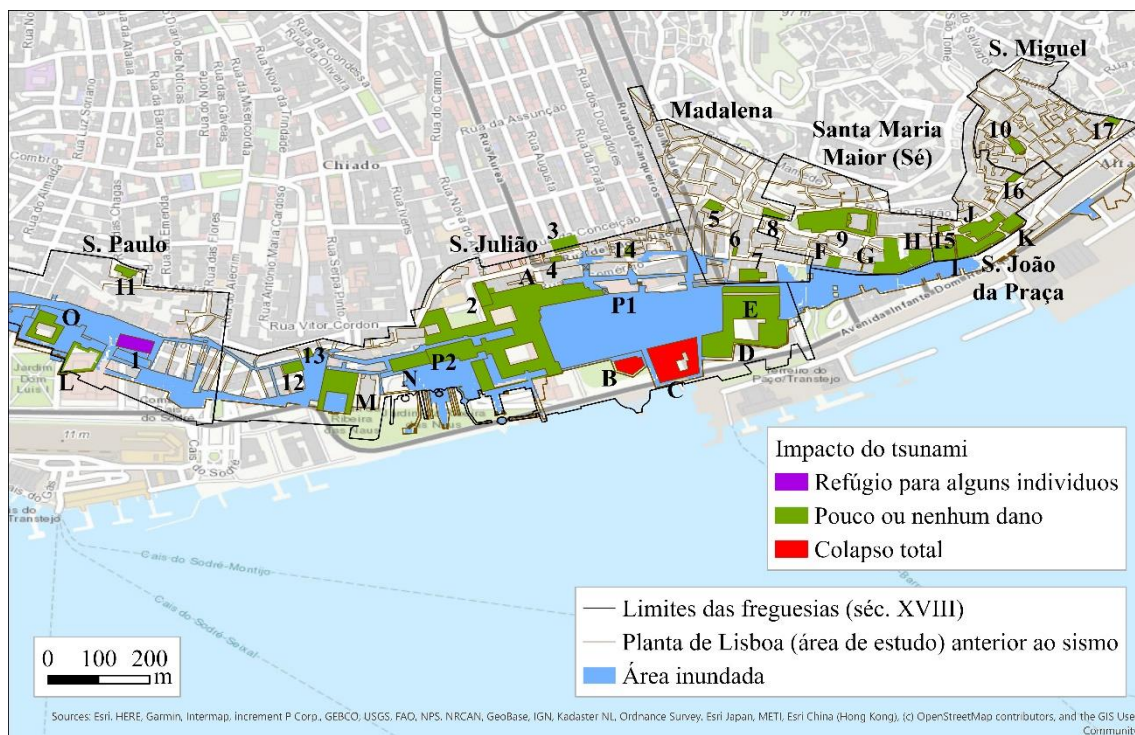


Figura 34: Área inundada pelo tsunami (160 minutos após a ocorrência do sismo). As abreviações P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Em todo o caso, segundo uma testemunha histórica que se encontrava junto da antiga Igreja de S. Paulo (#1), aqueles que não foram arrastados pelas águas quando o tsunami recuava rapidamente “ficaram com água acima da cintura” (Mineiro, 2005). Outro relato ressalta que a água passou sobre muitos dos edifícios da freguesia de S. Paulo, causando a sua inundação (Mendonça, 1758, citado por Oliveira, 2005; Mineiro, 2005). Os resultados apontam, contudo, que a inundação, pelo menos em diversos dos períodos analisados, tenha tido altura superior nesta área face a outros locais da área de estudo. Como é representado na Figura 35, a freguesia de S. Paulo terá sido aquela onde se terá verificado maior profundidade da inundação (Santos *et al.*, 2019), apenas inferior a alguns locais próximos do rio, nomeadamente junto às docas da Ribeira das Naus (#P2). Junto da Igreja de S. Paulo (#1), a título de exemplo, a inundação terá apresentado aproximadamente 1,4 metros, enquanto no Terreiro do Paço (#P1) não terá sido superior a 5 centímetros. Contudo, próximo do Forte da Vedoria (#B), edifício fortemente danificado pelo tsunami, e nalguns locais junto do limite oeste da Ribeira das Naus (#P2) ter-se-á verificado profundidades superiores a 3 e 2 metros, respetivamente.

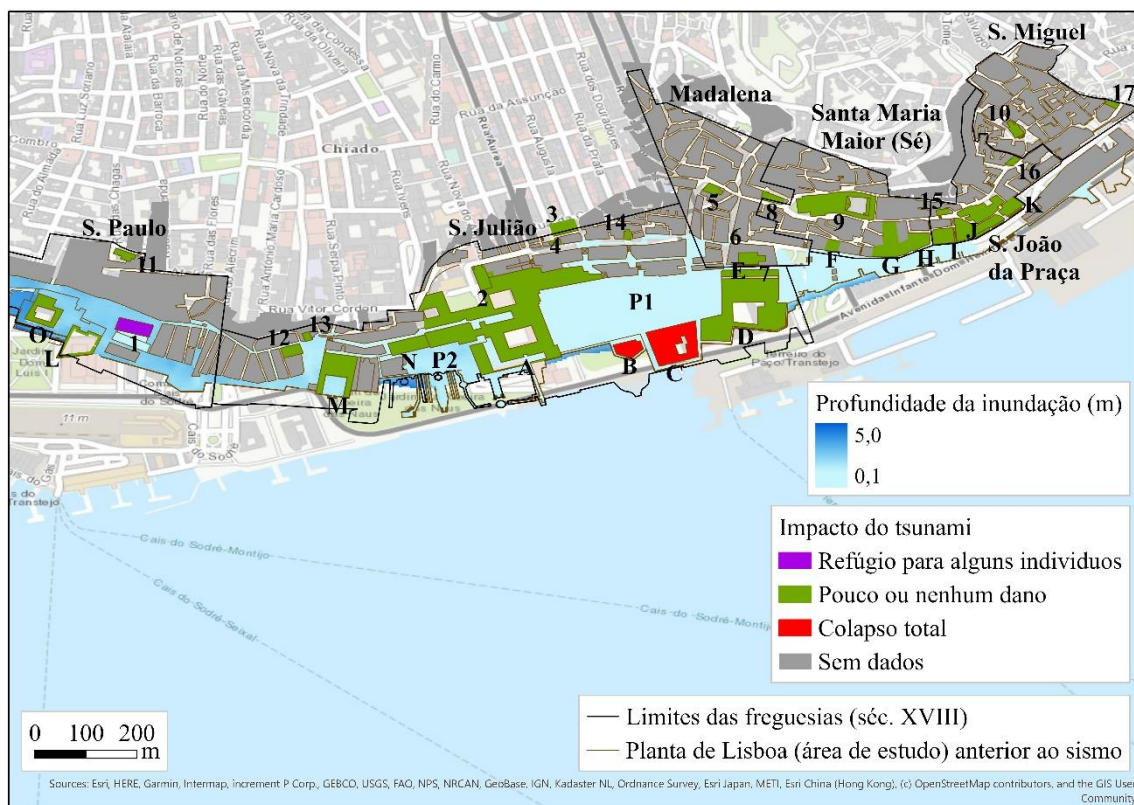


Figura 35: Profundidade da inundação do tsunami, adaptado de Santos *et al.* (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Porque constituírem as freguesias cujo peso da área inundada é superior, apesar dos edifícios objeto de estudo terem apresentado na sua grande maioria poucos ou nenhuns danos, considera-se S. Paulo e S. Julião como freguesias cujo impacto sobre as estruturas terá sido significativo, geralmente levando ao seu colapso parcial. Apesar dos resultados do modelo indicarem que as freguesias da Madalena, Sé e S. João da Praça apenas tenham sentido a inundação nos seus edifícios e estruturas mais próximas ou de frente para o rio, e da freguesia de S. Miguel não ter sentido o tsunami (Figuras 24 e 34), desconhece-se o impacto geral do fenómeno nas freguesias, tendo sido representada a cinzento (Figura 24). Efetivamente, para estas quatro freguesias não foram encontrados quaisquer registos referentes ao tsunami. Contudo, segundo os resultados obtidos, o tsunami não terá penetrado a este do terreiro em frente ao limite ribeirinho da freguesia de S. João da Praça. Por isso, poder-se-á presumir que a ausência desta informação se deve não à sua perda, mas ao facto de estas freguesias não terem sido afetadas pelo tsunami.

O mesmo parecem indicar os resultados relativos ao nível máximo da água verificado (Figura 36). À semelhança dos resultados anteriormente apresentados, a altura máxima verificada terá sido superior na freguesia de S. Paulo, no extremo oeste da área de estudo, onde se chegou a verificar uma altura de 5,6 metros, opondo-se às freguesias a este. O valor mínimo deste indicador terá sido na ordem dos 1,7 metros. No Terreiro do Paço (#P1) a altura máxima terá

sido próxima dos 3 metros, sendo ligeiramente inferior no terreiro ribeirinho junto da Casa dos Bicos (#F) e superior na Ribeira das Naus (#P2). Porém, a altura máxima junto do Forte da Vedoria (#B) e da Alfândega do Tabaco (#C) terá sido superior a 3 metros.

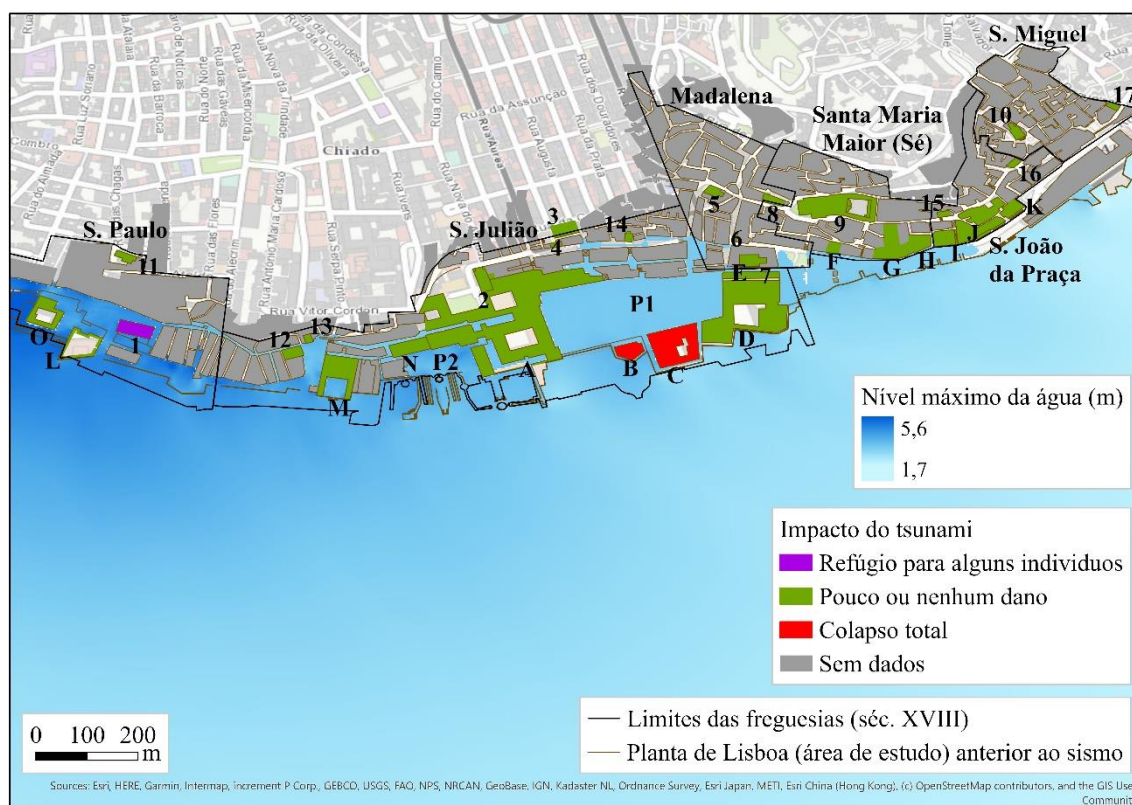


Figura 36: Nível máximo da água provocado pelo tsunami, adaptado de Santos *et al.* (2019). As abreviaturas P1 e P2 correspondem ao Terreiro do Paço e Ribeira das Naus, respetivamente. A planta da área de estudo e os limites das freguesias têm por base Ribeiro (1949) e Monteiro de Carvalho (n.d.), respetivamente.

Embora se verifiquem os maiores valores na zona oeste da área estudo, que corresponde também à área primeiramente e mais afetada pelo tsunami, os edifícios não terão sido danificados pelo mesmo.

Apesar não ter constituído objeto deste estudo, os resultados do modelo numérico do tsunami fornecem algumas pistas relativas à propagação dos incêndios (Santos *et al.*, 2019). Se testemunhas apontam que vários indivíduos que se refugiavam na Igreja de S. Paulo (#1) terão padecido face ao incêndio, então o incêndio terá chegado pelo menos 60 minutos depois do sismo ao local, momento em que a primeira onda atinge a igreja. Outras testemunhas apontam que os edifícios do Terreiro do Paço (#P1) e outros localizados mais no interior da cidade terão começado a arder pouco após o evento. Diversos focos de incêndio terão surgido (Oliveira, 2005) devido à queda de velas nas igrejas em hora de missa do dia de Todos-os-Santos ou a

primeira refeição do dia que começava a ser confeccionada em lume aceso, tendo se espalhado por toda a cidade, destruindo sobretudo a zona baixa da cidade. A isto se somam os relatos de indivíduos que fugiram para junto do rio para fugir das ruínas ainda instáveis e dos incêndios. Assim, e porque o Terreiro do Paço (#P1) terá sido afetado pelo tsunami apenas 65 minutos após o sismo, depois das águas atingirem a Igreja de S. Paulo (#1), o incêndio parece ter surgido mais a este tendo depois chegado à freguesia de S. Paulo, no extremo oeste da área de estudo. Todavia, estas são apenas algumas indicações que deverão ser validadas e aprofundadas em trabalhos futuros.

Os resultados obtidos através deste modelo podem ser validados com base nos relatos de testemunhas históricas, que em diversos casos referem a ocorrência de 3 ondas, sublinham como edifícios mais afetados pelo tsunami aqueles que ficam mais próximos do rio e / ou em áreas com menor altimetria, e que apresentam menores dimensões, e destacam as freguesias mais a oeste e com terreiros com orientação oeste e sul como as que sofreram maior impacto e maior inundação.

Além das descrições históricas, o trabalho de campo realizado no âmbito da presente dissertação permitiu igualmente corroborar com os resultados obtidos e contribuir que novos argumentos. Na necessidade de armazenar, posteriormente ao evento, bens perecíveis essenciais à população que antes eram armazenados no Terreiro do Trigo (#E), edifício muitas vezes designado de “Agasalho do pão”, foi mandado construir um novo edifício que detivesse esta função (Proença, 1991), embora não se conheça ao certo o(s) fenómeno(s) que contribuíram para a destruição do edifício primitivo. Entre 1765 e 1768, foi construído o Mercado Central de Produtos Agrícolas (Proença, 1991), no terreiro ribeirinho junto das freguesias de S. João da Praça e de S. Miguel (locais xxxvi e xxxvii, Figura 25). A este deste novo edifício foi igualmente construído um outro para substituir a Alfândega do Tabaco (#C), tomando a mesma designação.

Estas freguesias, segundo o modelo, não terão sido significativamente afetadas pelo tsunami, mesmo nos terreiros que as ligam ao rio. Por essa razão, constituiriam locais aparentemente seguros para novas edificações. Esta poderá ter sido uma das justificações para edificação deste edifício de elevada importância junto ao rio, pouco tempo depois do evento. Em todo o caso, como em campo é possível verificar, esta estrutura ainda hoje presente no local, apresenta na sua fachada ribeirinha rampas de pedra que mitigam o efeito de água que embata no edifício e promovem o reforço da sua construção (Figura 37). Estes pormenores na estrutura sublinham a preocupação tida na construção preventiva face a este tipo de fenómenos imediatamente após a sua ocorrência, levando a crer que a escolha do local também terá sido cuidada. Em todo o caso, embora não tenham sido encontradas descrições que apontem que o edifício tenha sido muito

danificado ao ponto da sua substituição, o novo edifício leva a que se tirem conclusões nesse sentido.



Figura 37: Novo edifício do Terreiro do Trigo (#E) e respetiva fachada para a Av. Infante Dom Henrique, onde é possível verificar o reforço da estrutura no lado do rio. Fotografia tirada a 12 de maio de 2019.

4.6. Apresentação e análise do WebSIG

O WebSIG criado reúne, assim, os resultados obtidos com o modelo numérico do tsunami (e.g. altura da água aquando da chegada da primeira e da terceira onda, nível máximo da água, área inundada), a vista aérea do modelo tridimensional da maquete da cidade antes do evento, os limites das freguesias históricas, a planta da cidade anterior ao sismo e a classificação dos danos provocados pelos sismo, incêndio e tsunami nos 32 edifícios identificados na área de estudo.

Esta aplicação, que apresenta a designação “Tsunami de 1755 em Lisboa”, encontra-se organizada em 5 separadores, conforme apresentado Figura 12, cada um destes apresentando um mapa interativo com diferentes conteúdos. A aplicação está disponível *online* em <https://arcg.is/1bTXa0>.

Embora toda esta informação fique reunida, organizada e atualizada numa única plataforma *online*, esta aplicação exigirá sempre a aquisição de licença de utilização por parte da equipa de

manutenção da mesma. Além desta dificuldade relacionada com a natureza do software utilizado, adiciona-se o potencial de desconfiguração da mesma se não visualizada em modo de ecrã inteiro.

Esta aplicação global constituída por 5 simples aplicações relativamente intuitivas permitirá que esta informação esteja facilmente acessível não apenas à população visitante do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta), como *online*. Apesar das dificuldades anteriormente referidas, a aplicação poderá ser visualizada, igualmente, em diversos tipos de dispositivos.

Nos diversos separadores, com especial destaque para os últimos três, o utilizador tem a possibilidade de identificar as áreas que terão sido mais afetadas pelos diversos fenómenos. A visualização e interpretação desta informação conseguidas em particular através desta plataforma contribuem, também, para um melhor entendimento e identificação das áreas com maior potencial para serem afetadas por eventos semelhantes no futuro.

4.6.1. Separador “Edifícios anteriores ao tsunami (3D)”

O primeiro separador apresenta um mapa interativo com a representação tridimensional dos edifícios anteriores ao evento localizados na área de estudo (Figura 38). A altura dos edifícios teve por base, em grande medida, a maquete do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta). Estes edifícios encontram-se sobrepostos a um mapa da cidade atual, onde é possível verificar a localização dos mesmos, bem como as alterações assinaladas na malha urbana.

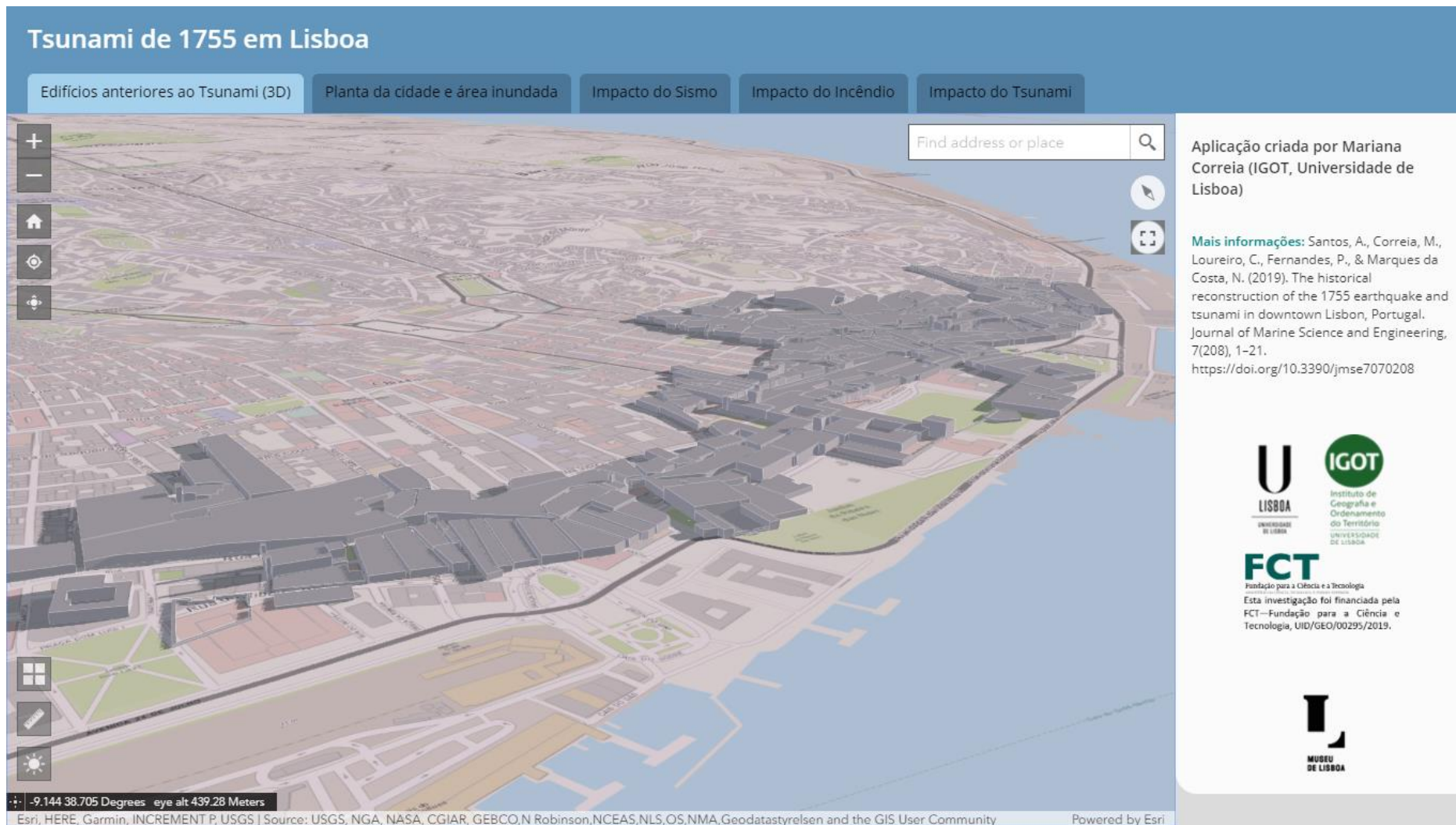


Figura 38: Primeiro separador do WebSIG: representação tridimensional dos edifícios anteriores ao evento localizados na área de estudo.

Além da representação tridimensional da malha urbana da cidade no séc. XVIII, este separador apresenta diversas funcionalidades que fomentam a interação do utilizador com estes objetos. De entre estas três ferramentas destaca-se uma primeira que dá a possibilidade ao utilizador de alterar o dia, o horário e o fuso horário de observação, definindo, consequentemente, a iluminação e as sombras formadas pelos edifícios (Figura 39).

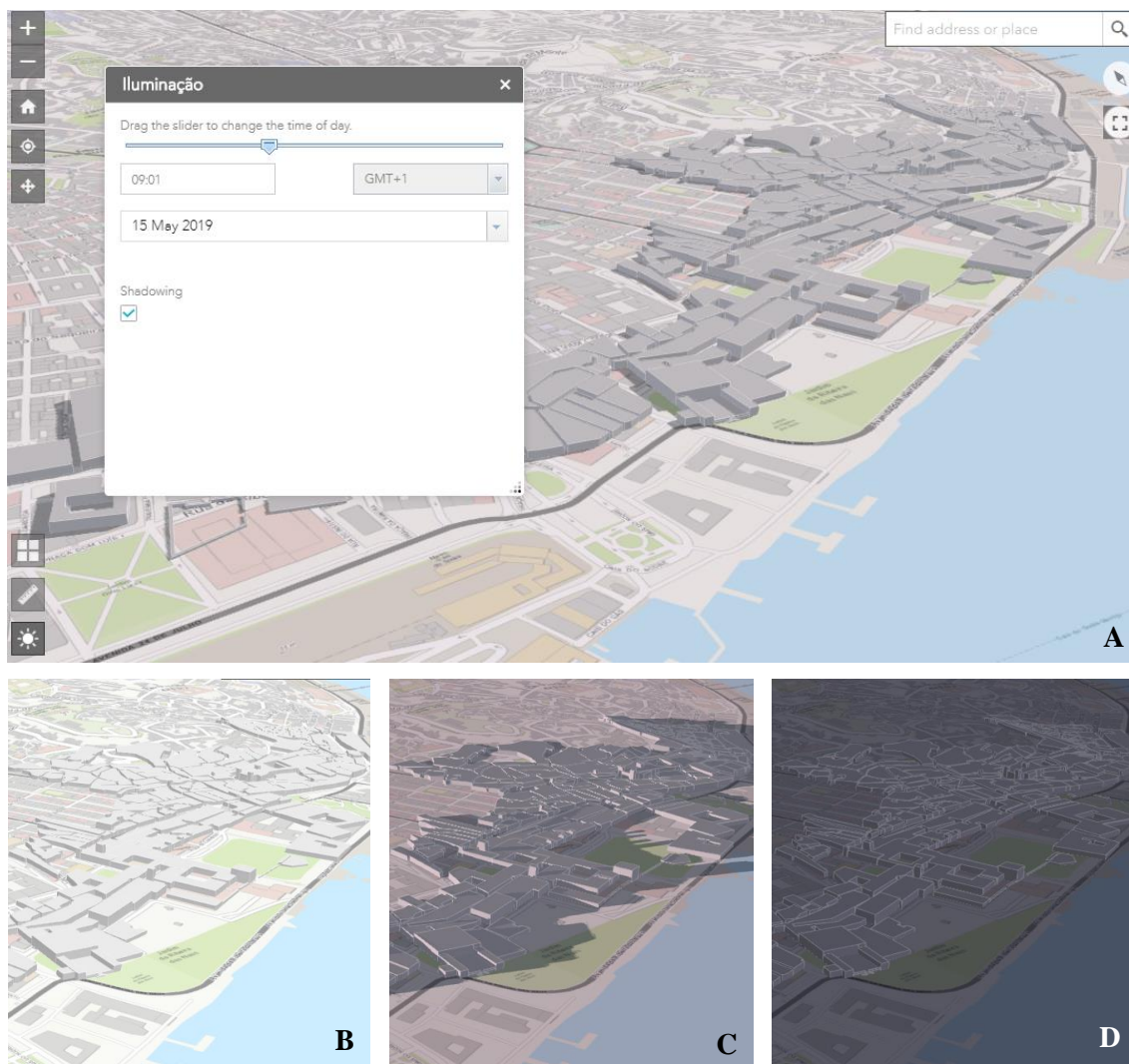


Figura 39: Função de alteração de iluminação: (A) 9 horas, (B) 14 horas, (C) 20 horas e (D) meia noite (0 horas).

O utilizador tem igualmente a possibilidade de medir áreas e distâncias entre diferentes pontos do mapa, sendo os resultados dados em metros quadrados ou metros, respetivamente (Figura 40). Esta ferramenta permite, assim, uma conceção da dimensão dos edifícios, bem como das distâncias entre os mesmos ou face a localizações atuais.

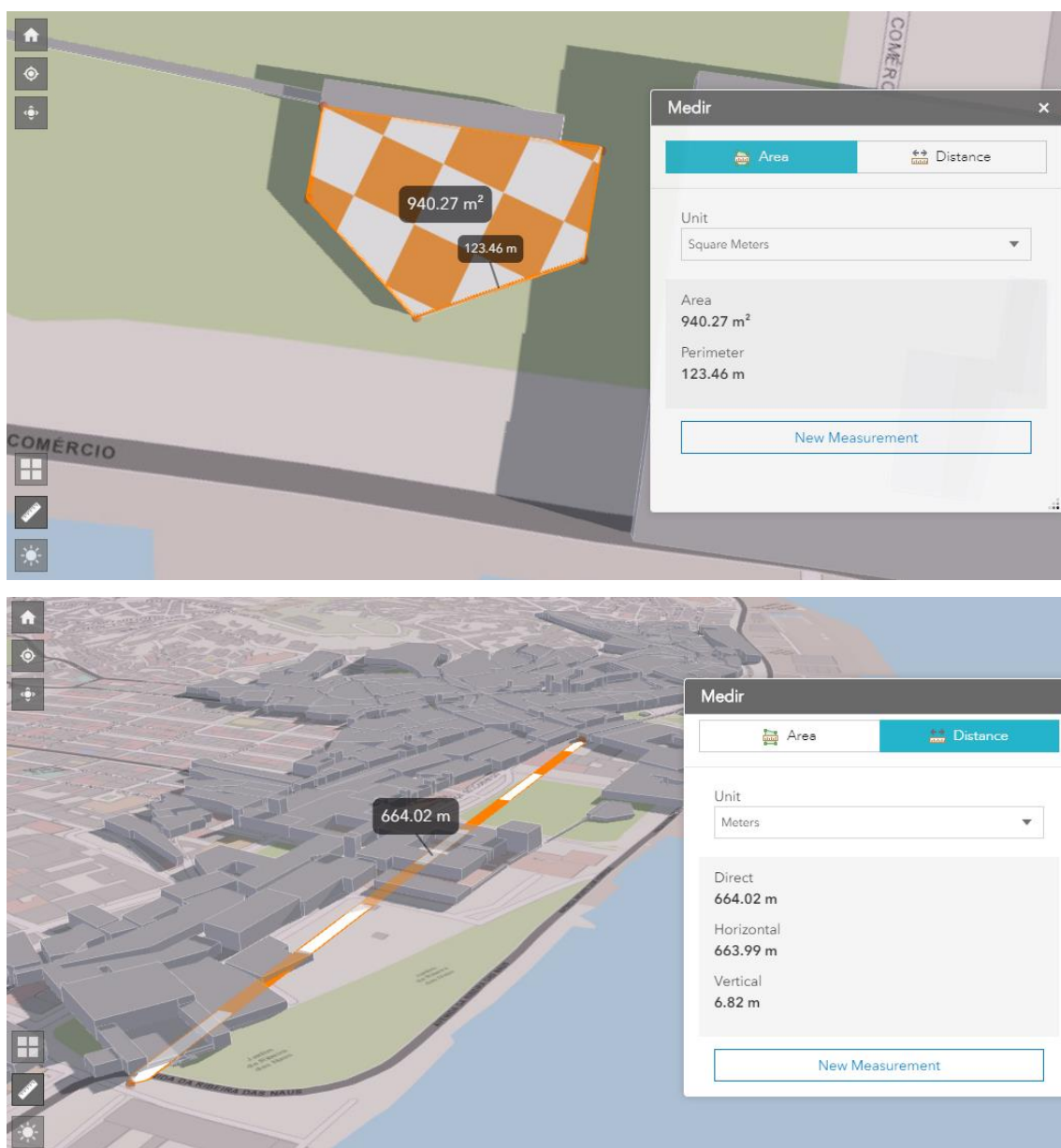


Figura 40: Função de medição de (A) áreas e (B) distâncias.

4.6.2. Separador “Planta da cidade e área inundada”

Num segundo separador estão representados todos os resultados obtidos e anteriormente referidos em duas dimensões (Figura 41). Este separador permite ao utilizador cruzar os diversos dados, tirar as suas próprias conclusões e detetar padrões a partir da seleção e sobreposição dos diferentes tipos de informações.

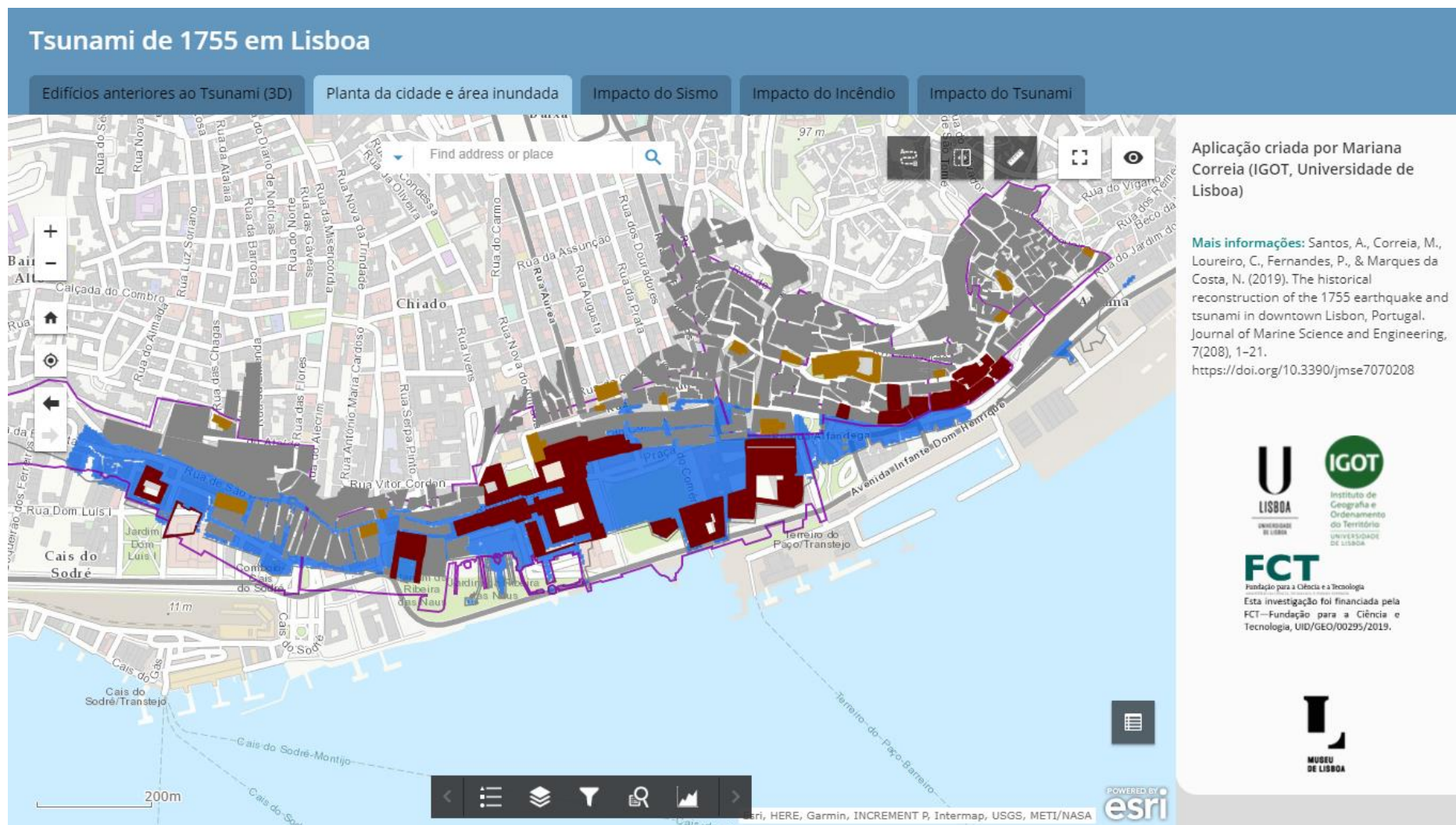


Figura 41: Segundo separador do WebSIG: representação bidimensional dos resultados obtidos no âmbito da dissertação.

As Figuras 42 a 53 representam as 12 camadas possíveis de ser ativadas neste separador. As diversas camadas encontram-se sobreposta ao mesmo mapa de base do separador anterior de modo a potenciar a compreensão dos dados. As igrejas e ermidas identificadas (Figura 42) surgem numa camada isolada dos restantes edifícios identificados na área de estudo (Figura 43).

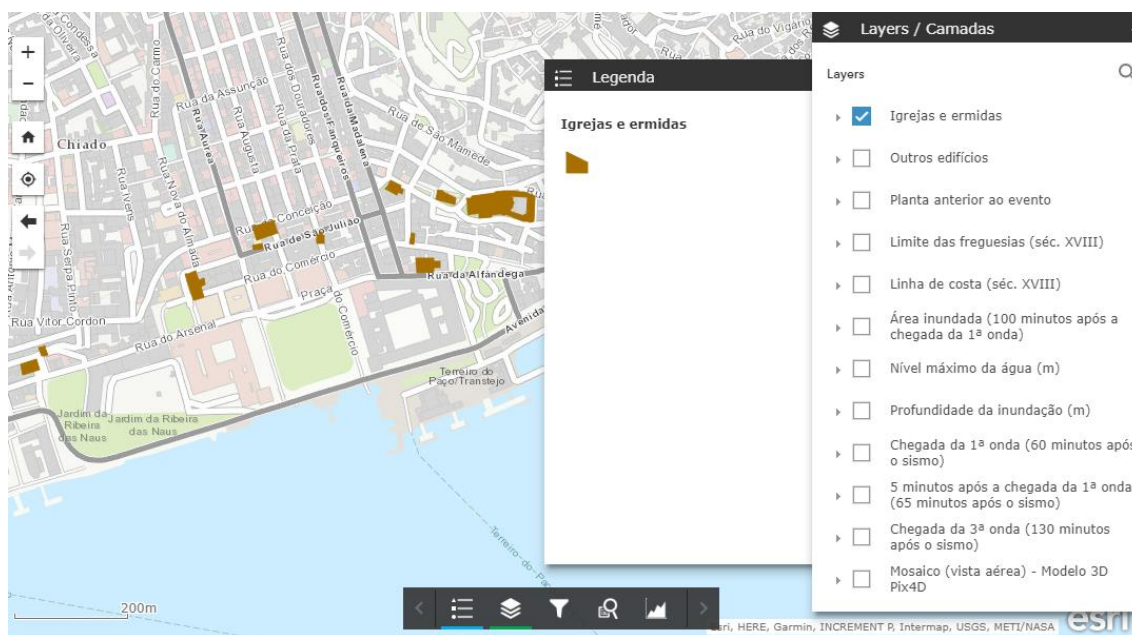


Figura 42: Camada “Igrejas e ermidas” do segundo separador do WebSIG.

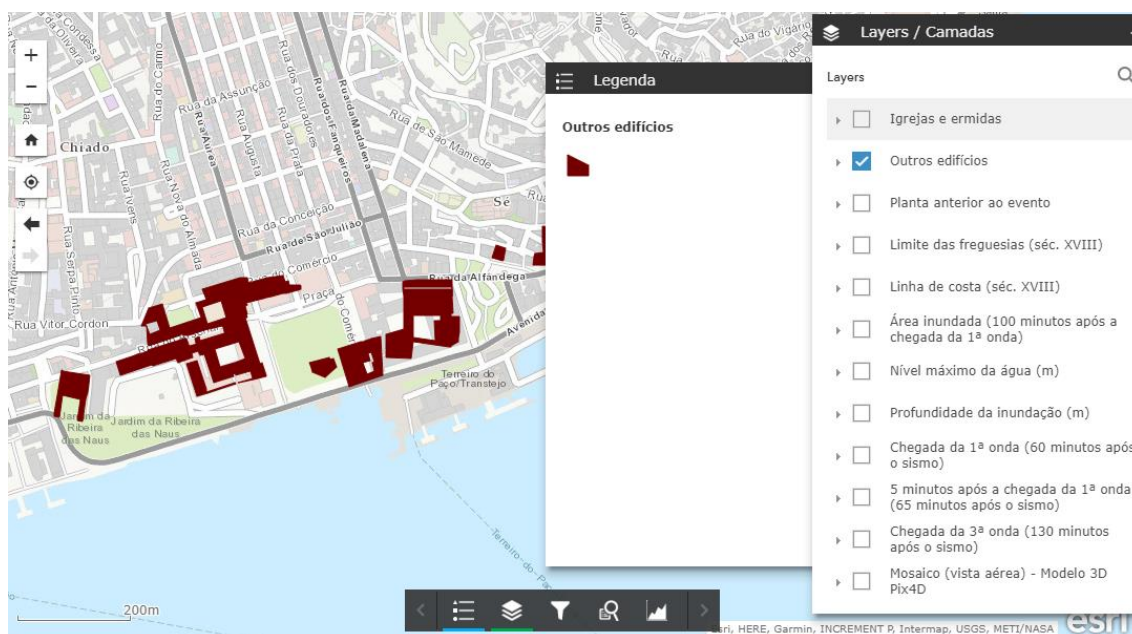


Figura 43: Camada “Outros edifícios” do segundo separador do WebSIG.

Os restantes edifícios não identificados embora localizados na área de estudo estão reunidos na camada designada “Planta anterior ao evento” (Figura 44). Esta camada não inclui, assim, os edifícios identificados neste trabalho e que constituem as duas camadas anteriormente apresentadas. A sua simbologia será mantida neste e nos próximos 3 separadores.

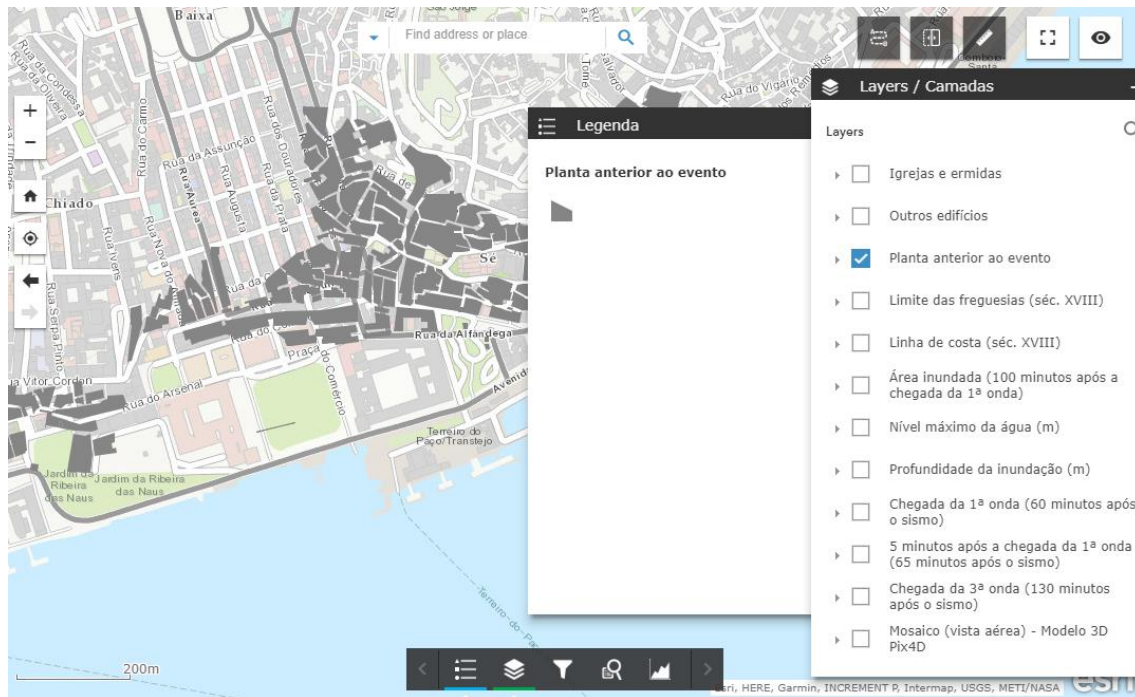


Figura 44: Camada “Planta anterior ao evento” do segundo separador do WebSIG.

São igualmente apresentados, em diferentes camadas, os limites das freguesias (Figura 45) e a linha de costa (Figura 46) no séc. XVIII, permitindo ao utilizador verificar as discrepâncias entre diferentes fontes de dados.

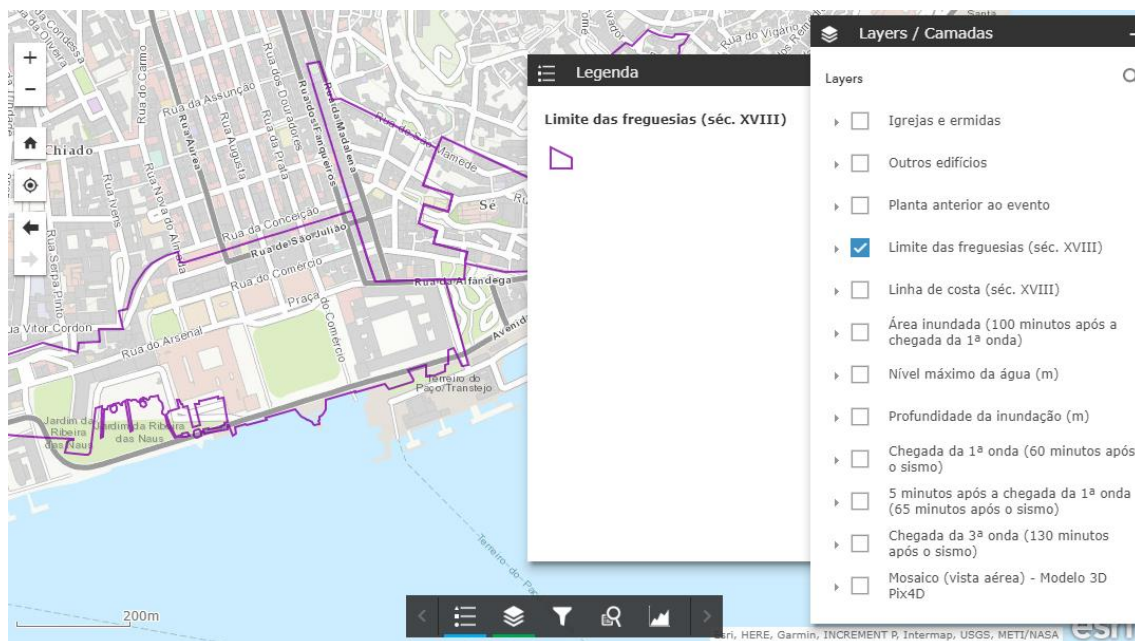


Figura 45: Camada “Limite das freguesias (séc. XVIII)” do segundo separador do WebSIG.

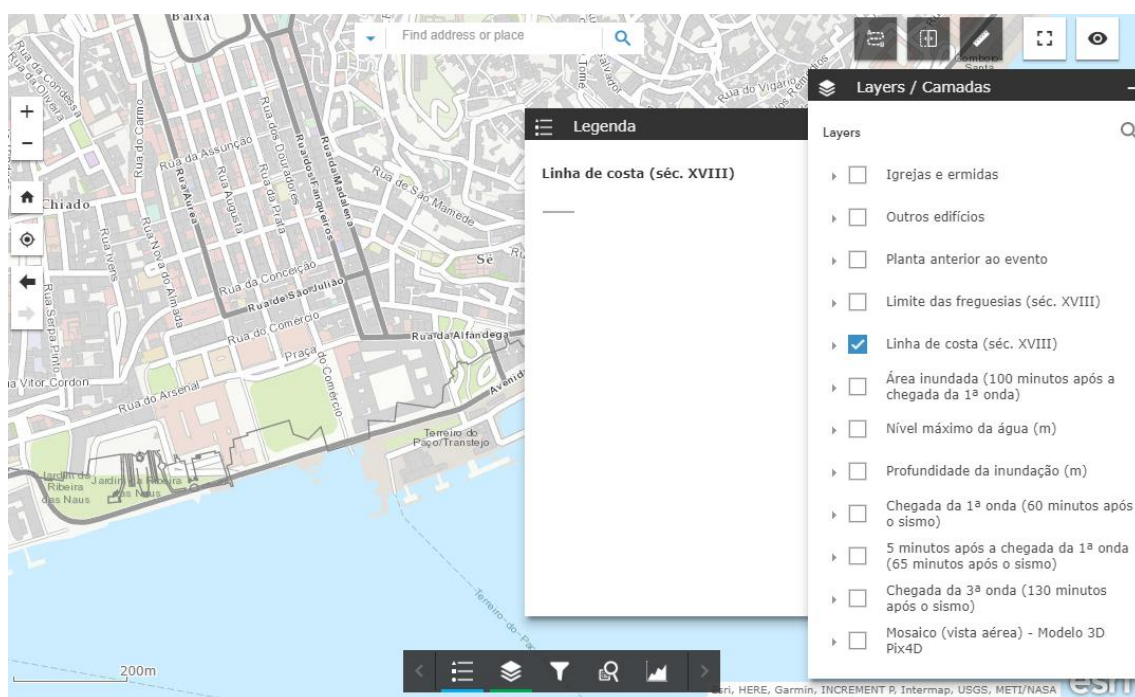


Figura 46: Camada “Linha de costa (séc. XVIII)” do segundo separador do WebSIG.

São igualmente incluídos neste separador 6 diferentes resultados do modelo numérico do tsunami: a área inundada (Figura 47); nível máximo da água (Figura 48); profundidade da inundação (Figura 49); a altura da onda aquando da chegada da primeira onda (Figura 50), após

5 minutos da chegada desta onda (Figura 51) e aquando da chegada da terceira onda (Figura 52).

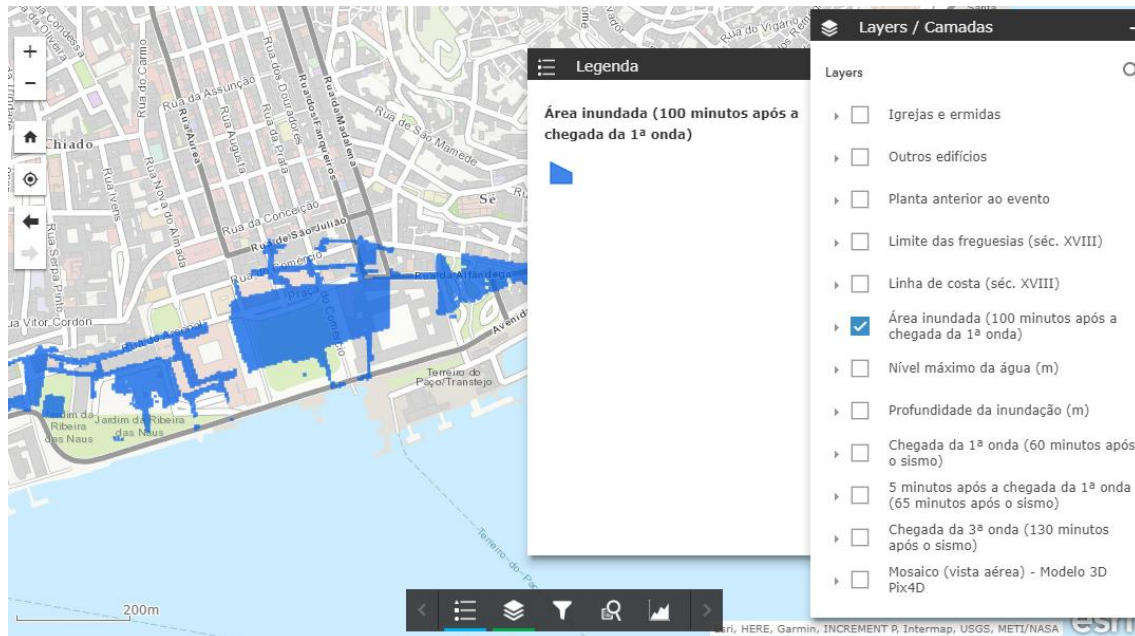


Figura 47: Camada “Área inundada (100 minutos após a chegada da 1ª onda)” do segundo separador do WebSIG.

A área inundada refere-se ao território inundado 100 minutos após a chegada da primeira onda (Figura 47), possível de obter através de uma resolução de 3 metros como a definida para construção do modelo numérico.

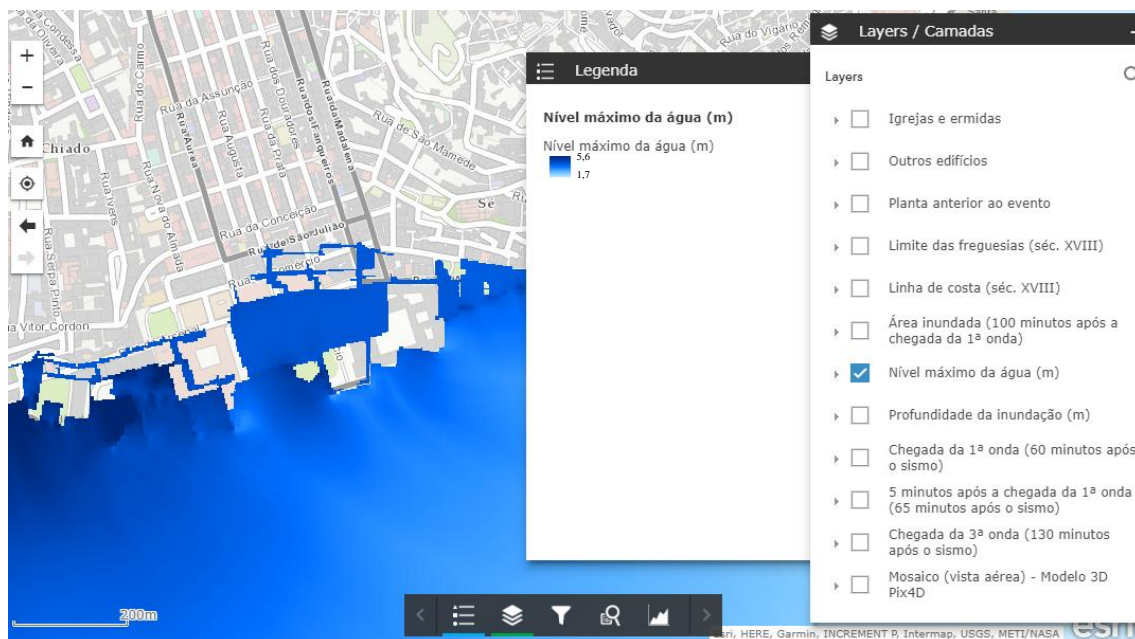


Figura 48: Camada “Nível máximo da água” do segundo separador do WebSIG.

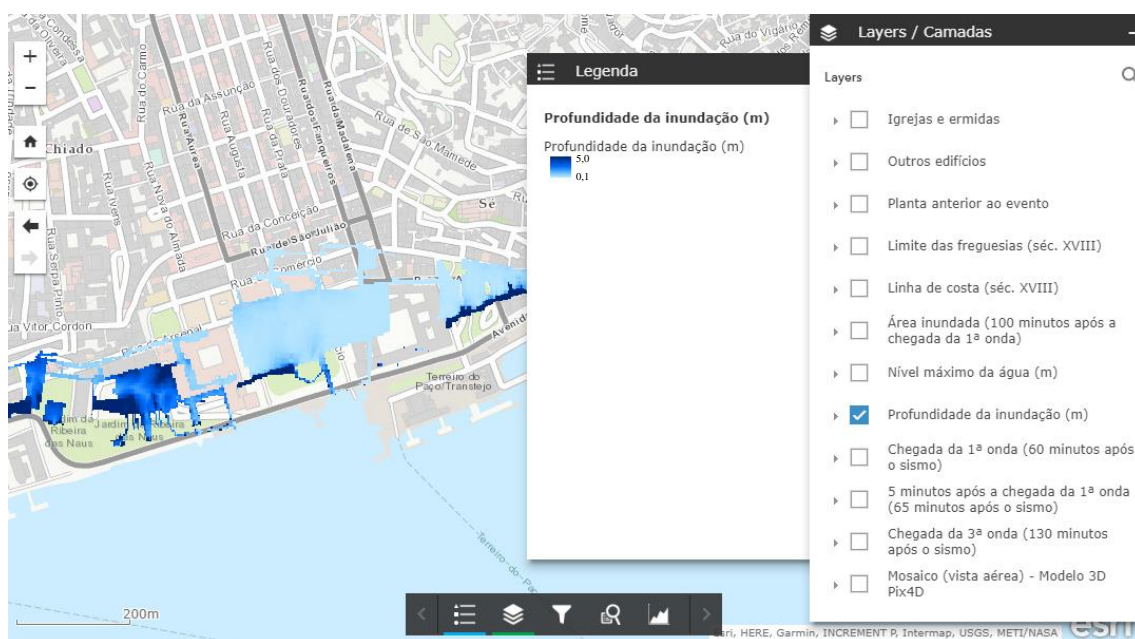


Figura 49: Camada “Profundidade da inundação” do segundo separador do WebSIG.

A inclusão dos resultados do modelo numérico permite que qualquer visitante do Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) possa avaliar as ruas e edifícios históricos afetados pelo tsunami e pela sua inundação, bem como os locais atuais que teriam ficado inundados.

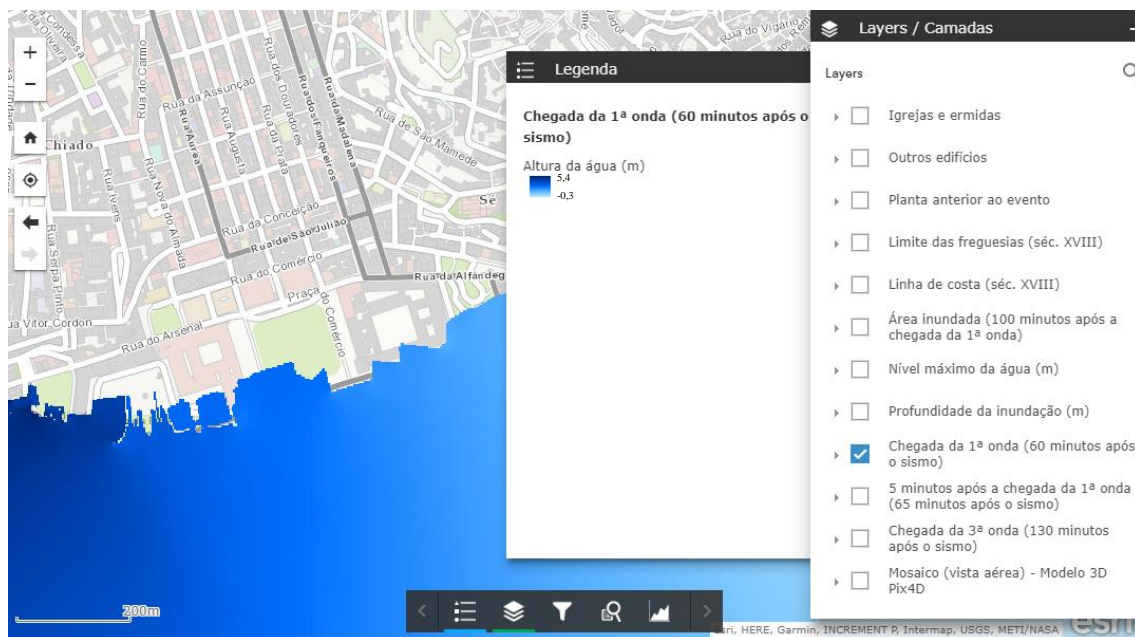


Figura 50: Camada “Chegada da 1ª onda (60 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.

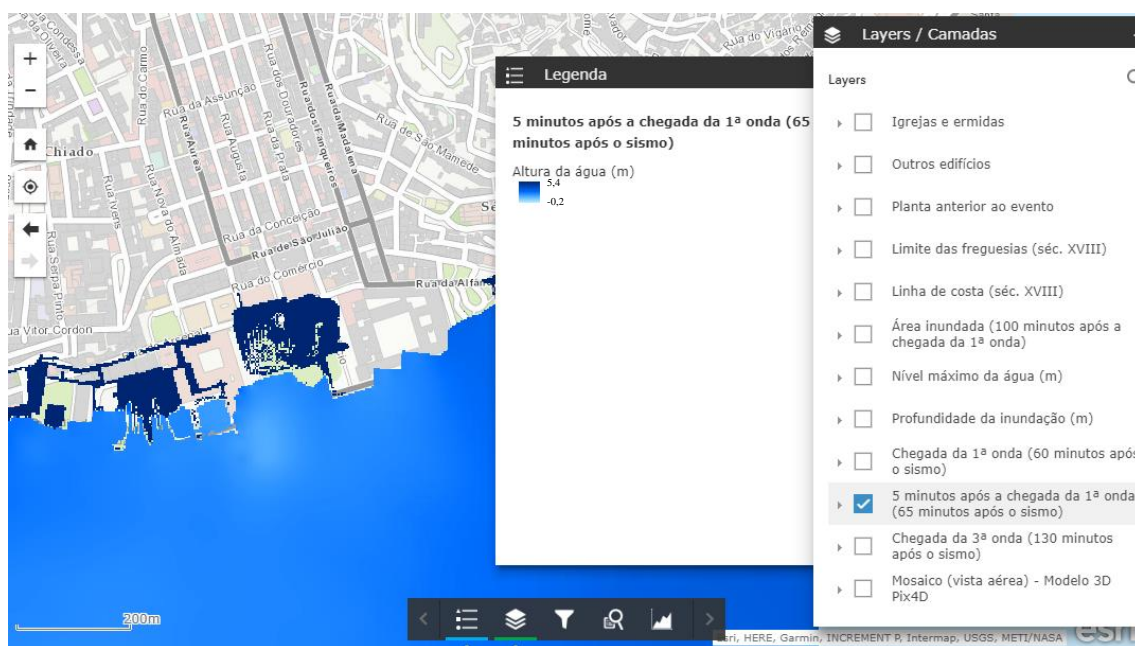


Figura 51: Camada “5 minutos após a chegada da 1ª onda (65 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.

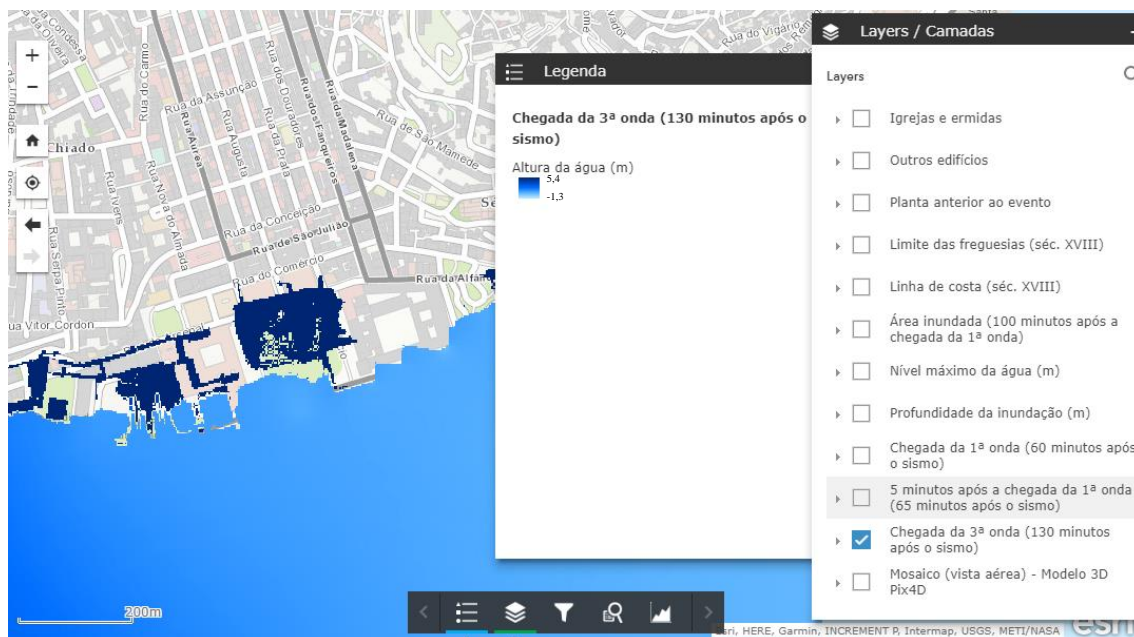


Figura 52: Camada “Chegada da 3ª onda (130 minutos após o sismo)” do segundo separador do WebSIG.

Por fim, foi também incluído na aplicação do segundo separador o mosaico de vista aérea do modelo tridimensional obtido através do software Pix4D (Figura 53). O utilizador pode, assim, avaliar visualmente as diferenças entre a planta definida nesta dissertação e a representada na maquete, bem como sobrepor a este mosaico os diferentes resultados, inclusive os *outputs* do modelo numérico do tsunami. Além disso, os edifícios surgem neste mosaico com aspeto mais realista face à coloração das fotografias tiradas à maquete. Esta sobreposição permite otimizar a visualização dos locais onde a inundação chegou e a altura da água nesses locais face ao tipo de edificado.

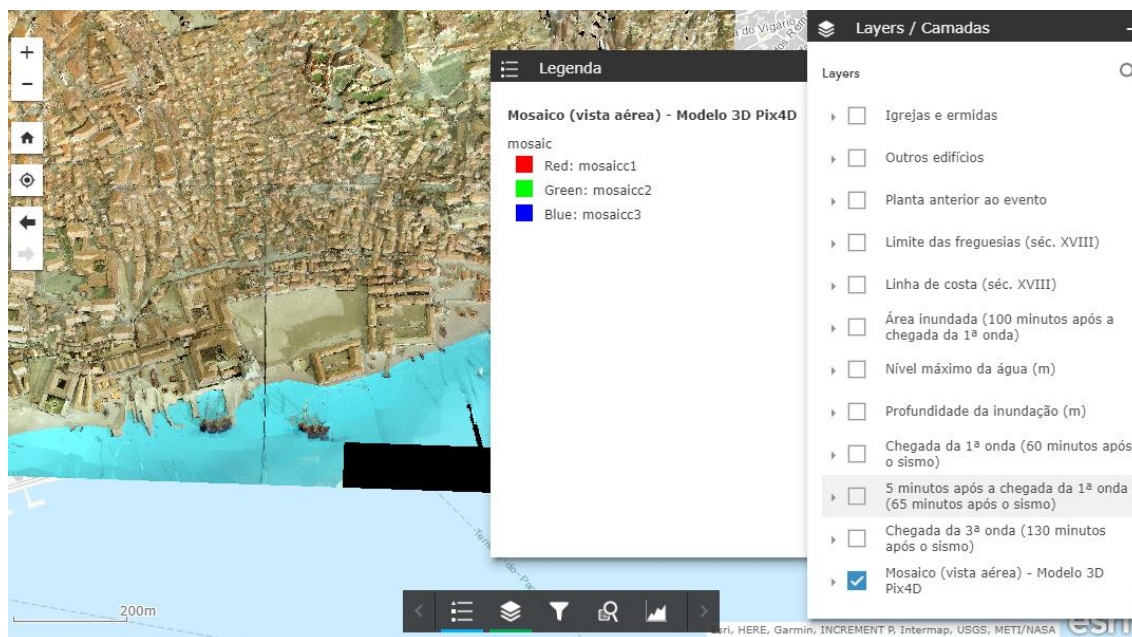


Figura 53: Camada “Mosaico (vista aérea) – Modelo 3D Pix4D” do segundo separador do WebSIG.

Selecioneando algum dos edifícios ou das freguesias que constituem as camadas “Igrejas e ermidas”, “Outros edificios” e “Limite das freguesias (séc. XVIII)”, o utilizador da aplicação verá abrir-se uma janela com informação respeitante a este objeto. No caso das primeiras duas camadas, a janela apresenta a freguesia histórica no qual o edifício está localizado, bem como o impacto que cada um dos 3 fenómenos no mesmo (Figura 54A). No caso da última destas camadas surgirá apenas informação do impacto geral destes fenómenos no território a que correspondem (Figura 54B). Quando é realizada a seleção, os limites do objeto selecionado surgem a cor azul clara (Figura 54).

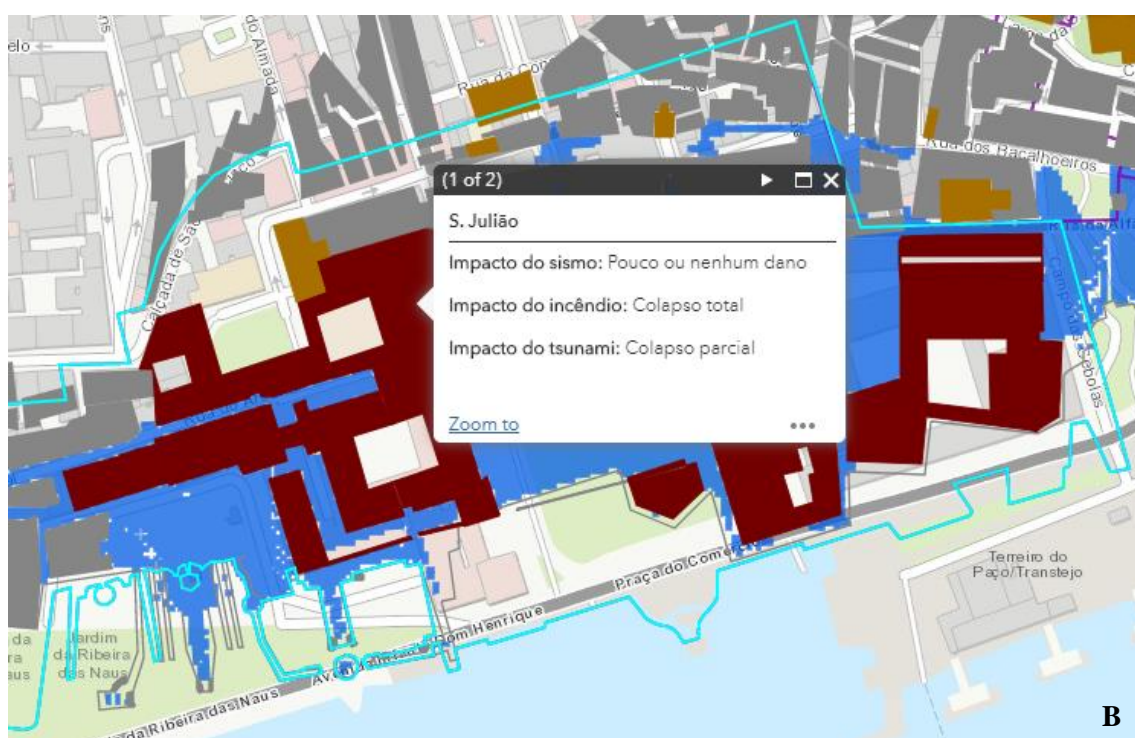


Figura 54: Janelas “pop-up” com atributos de objetos: (A) quando da seleção de um dos edifícios identificados neste trabalho e (B) quando da seleção de uma freguesia histórica.

Esta segunda aplicação possui grande diversidade de ferramentas que otimizam a visualização, interpretação e análise dos resultados apresentados. No canto superior direito do separador são apresentadas 5 ferramentas: cálculo de direções entre duas localizações (Figura 55); deslocamento do mosaico (vista aérea) do modelo tridimensional da área de estudo sobre restantes camadas (Figura 56); medição de áreas, distâncias e localização; ativação de ecrã inteiro; e localização do território visível no WebSIG (Figura 57).

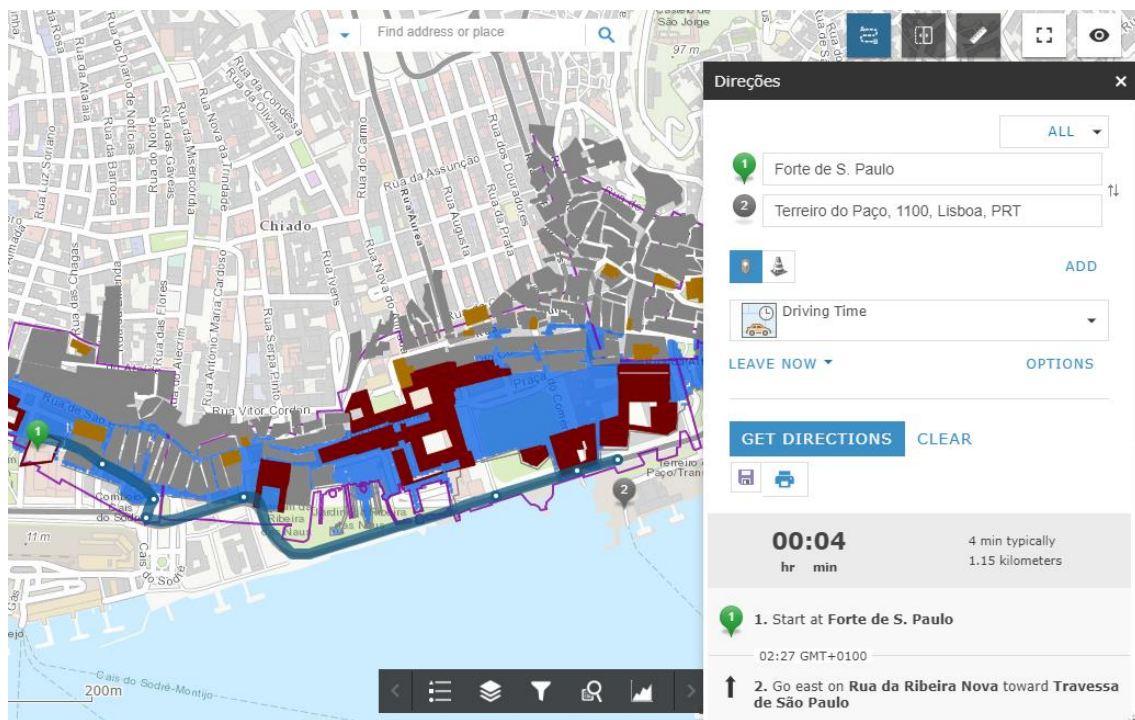


Figura 55: Função de cálculo de direções, disponível no segundo separador do WebSIG.

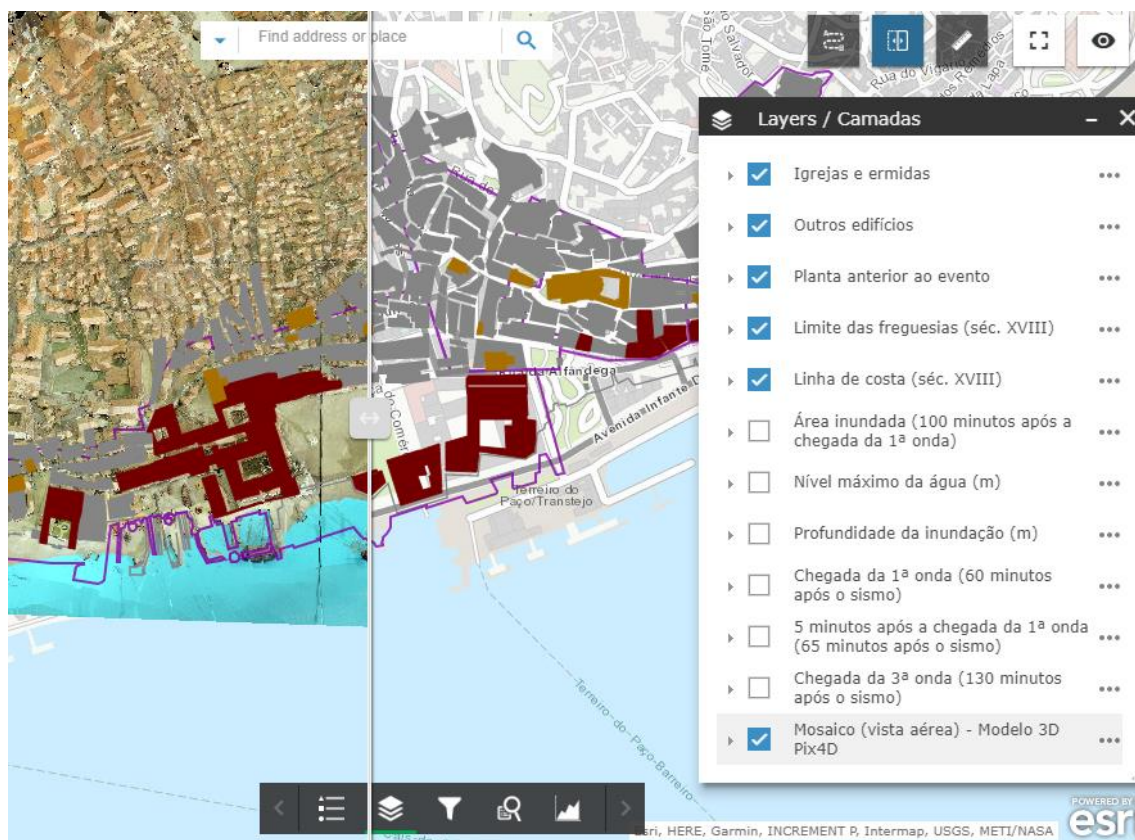


Figura 56: Função de deslocamento do mosaico (vista aérea) do modelo tridimensional da área de estudo sobre restantes camadas e listagem das camadas ativas, disponível no segundo separador do WebSIG.

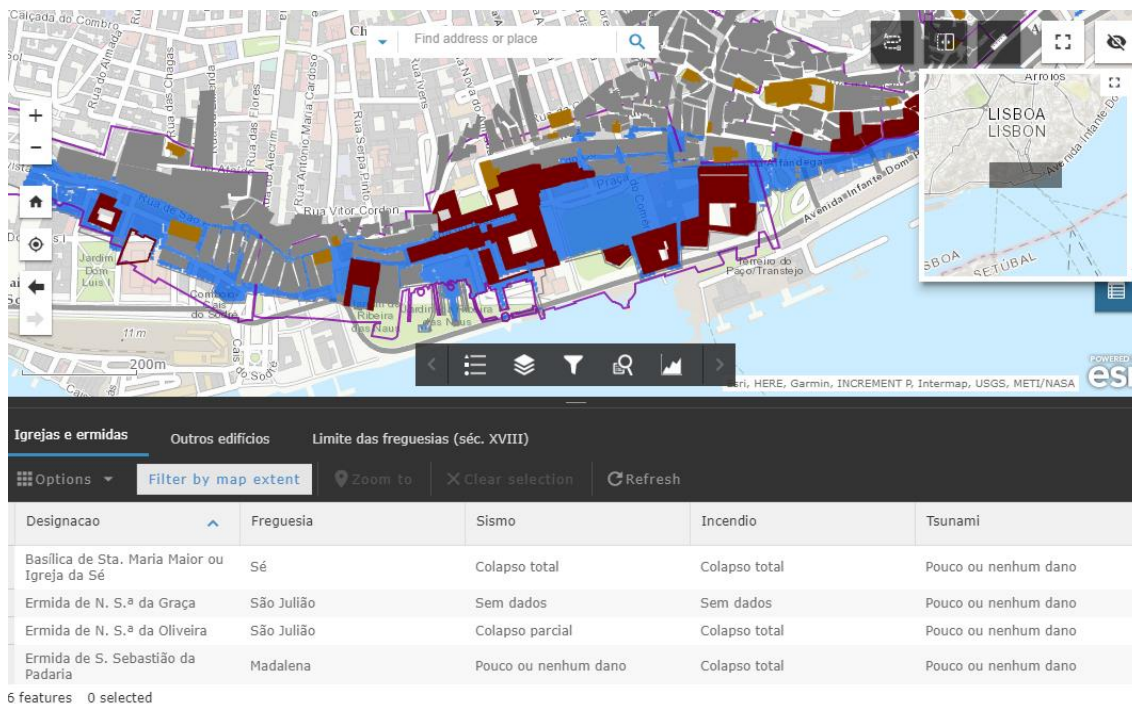


Figura 57: Função de localização do território visível no WebSIG e visualizador das tabelas de atributos, disponível no segundo separador do WebSIG.

A primeira das ferramentas fornece a direções detalhadas entre dois pontos ou locais estipulados pelo utilizador, sejam edifícios identificados na presente dissertação ou outros pontos assinalados através da sua morada (Figura 55). A ferramenta permite que seja escolhido pelo utilizador o modo de viagem ou método de definição de percurso (e.g. distância a pé, tempo a conduzir), sendo dada indicação do tempo de percurso e uma estimativa da fluidez do trânsito (para percursos não pedestres). A segunda ferramenta permite a visualização através de deslocamento da vista aérea do modelo sobre outras quaisquer camadas ativáveis, contudo necessita que esta camada esteja ativa (Figura 56). No limite direito da aplicação deste separador é possível visualizar e interagir com a tabela de atributos das camadas referentes aos edifícios identificados, bem como das freguesias da área de estudo (Figura 57).

No fundo da aplicação, porém, encontram-se ainda outras funcionalidades. Além da listagem de camadas e da legenda dos conteúdos, neste local apresentam-se ainda opções que permitem a aplicação de filtros (Figura 58), a consulta espacial de entidades e atributos (Figura 59) e a apresentação de gráficos (Figura 60). A Figura 58 mostra o exemplo do resultado de um dos filtros pré-definidos quando o mesmo é ativado. No caso desta ferramenta, apenas é feita uma aproximação aos resultados do pedido realizado. Quando é realizada uma consulta espacial, a esta “aproximação” é adicionada a apresentação do conteúdo *pop-up* (i.e. atributos dos objetos alvo de consulta) dos resultados obtidos (Figura 59). Contudo, o utilizador não tem a possibilidade de definir de raiz as consultas espaciais que pretende, tendo de optar pela lista de

consultas pré-estabelecidas. Por fim, a ferramenta de apresentação de gráficos permite ao utilizador uma outra perspetivas dos conteúdos da aplicação, tendo sido pré-estabelecidos diversos gráficos referentes à classificação dos danos por fenómeno e tipologia de edifício identificado ou freguesia (Figura 60).

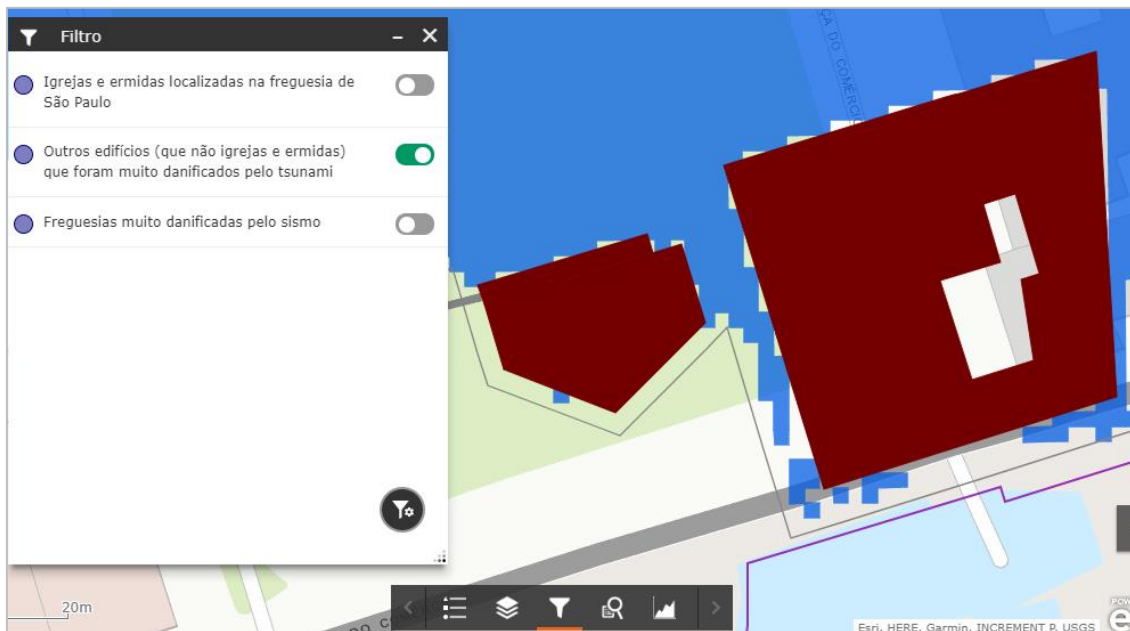


Figura 58: Função de aplicação de filtros, disponível no segundo separador do WebSIG.

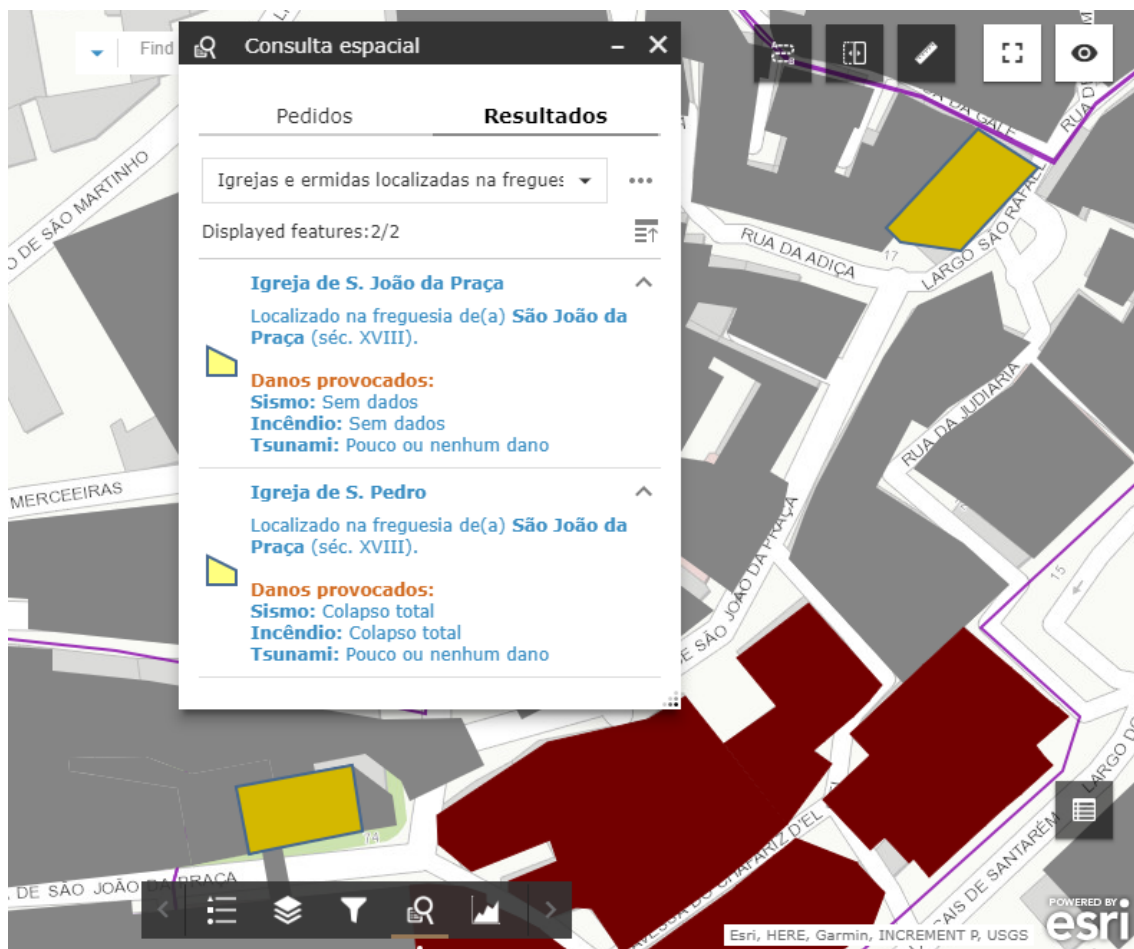


Figura 59: Função de consulta espacial de entidades e atributos, disponível no segundo separador do WebSIG.

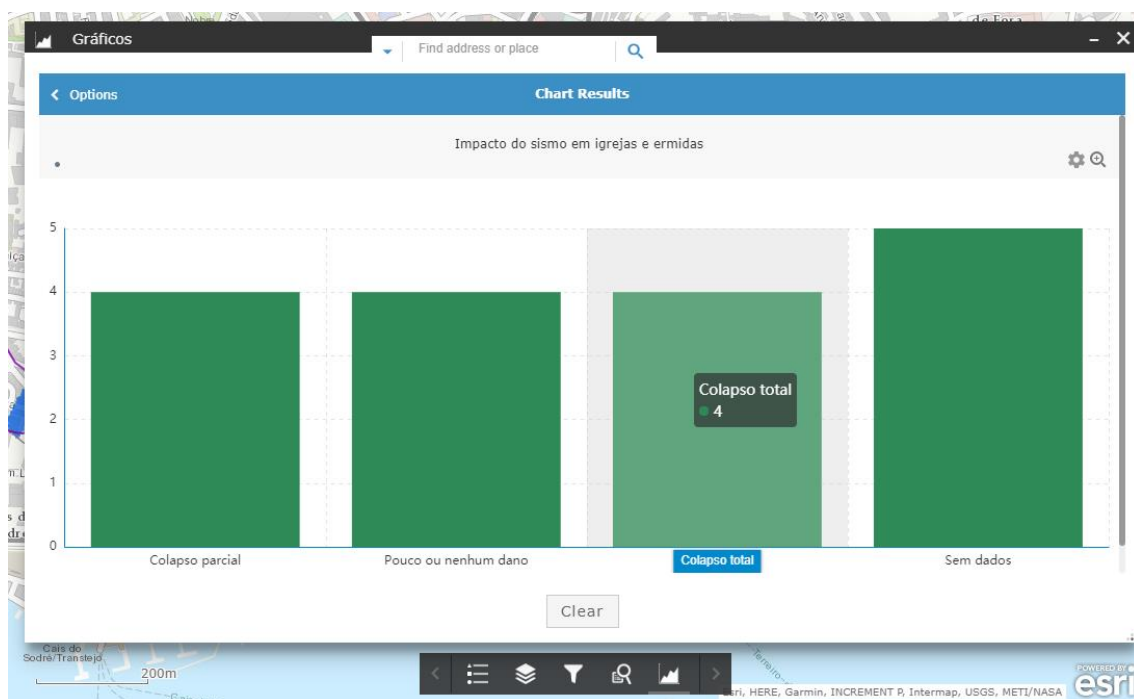


Figura 60: Função de apresentação de gráficos, disponível no segundo separador do WebSIG.

4.6.3. Separadores referentes ao impacto do sismo, incêndio e tsunami

Os restantes 3 separadores apresentam aplicações bidimensionais, cada uma das quais referente à síntese da classificação dos danos provocados por cada um dos três fenómenos ocorridos aquando do evento nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo. As Figuras 61 a 63 representam os separadores referente ao impacto dos sismo, incêndio e tsunami, respetivamente.

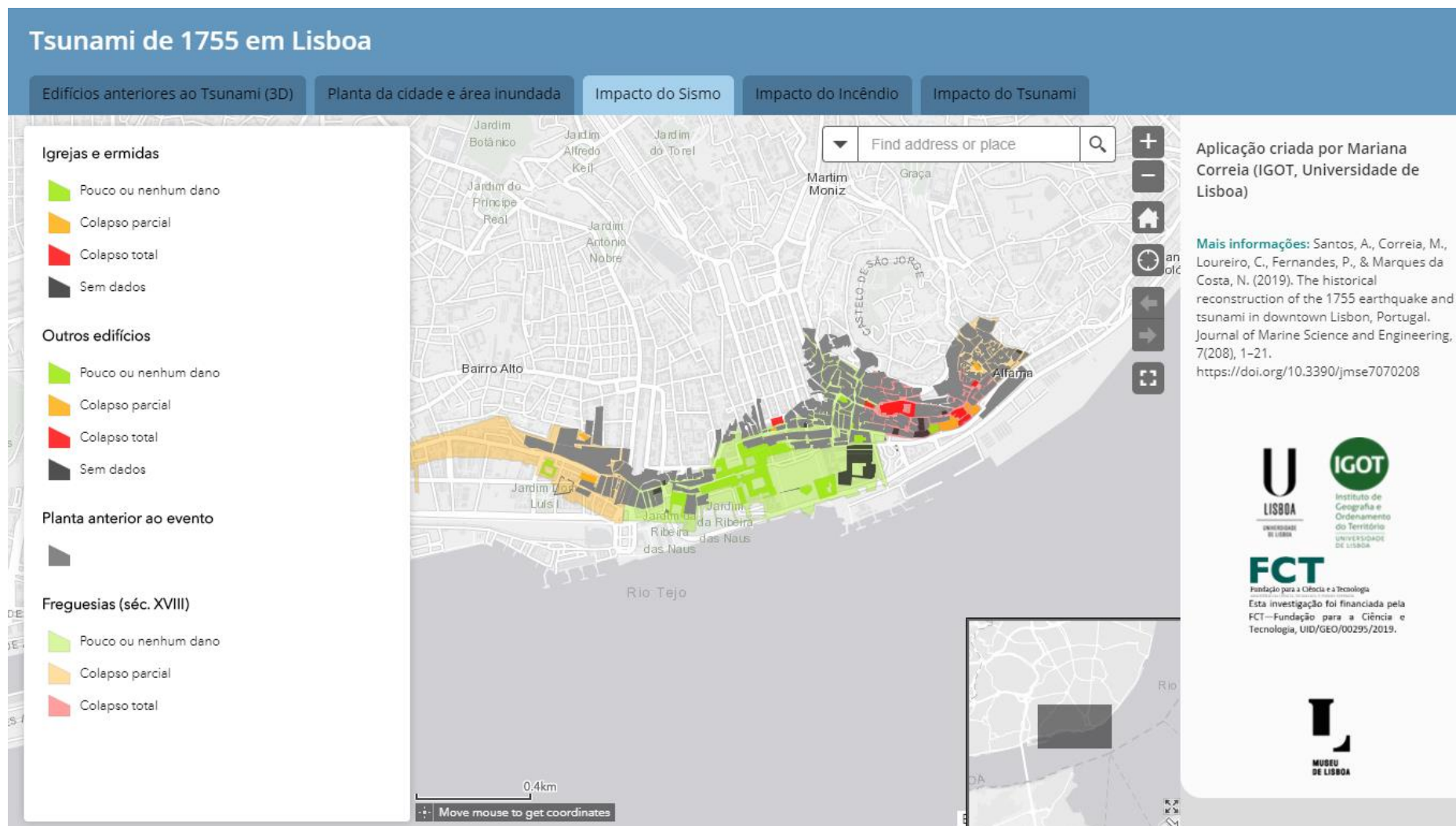


Figura 61: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do sismo nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.

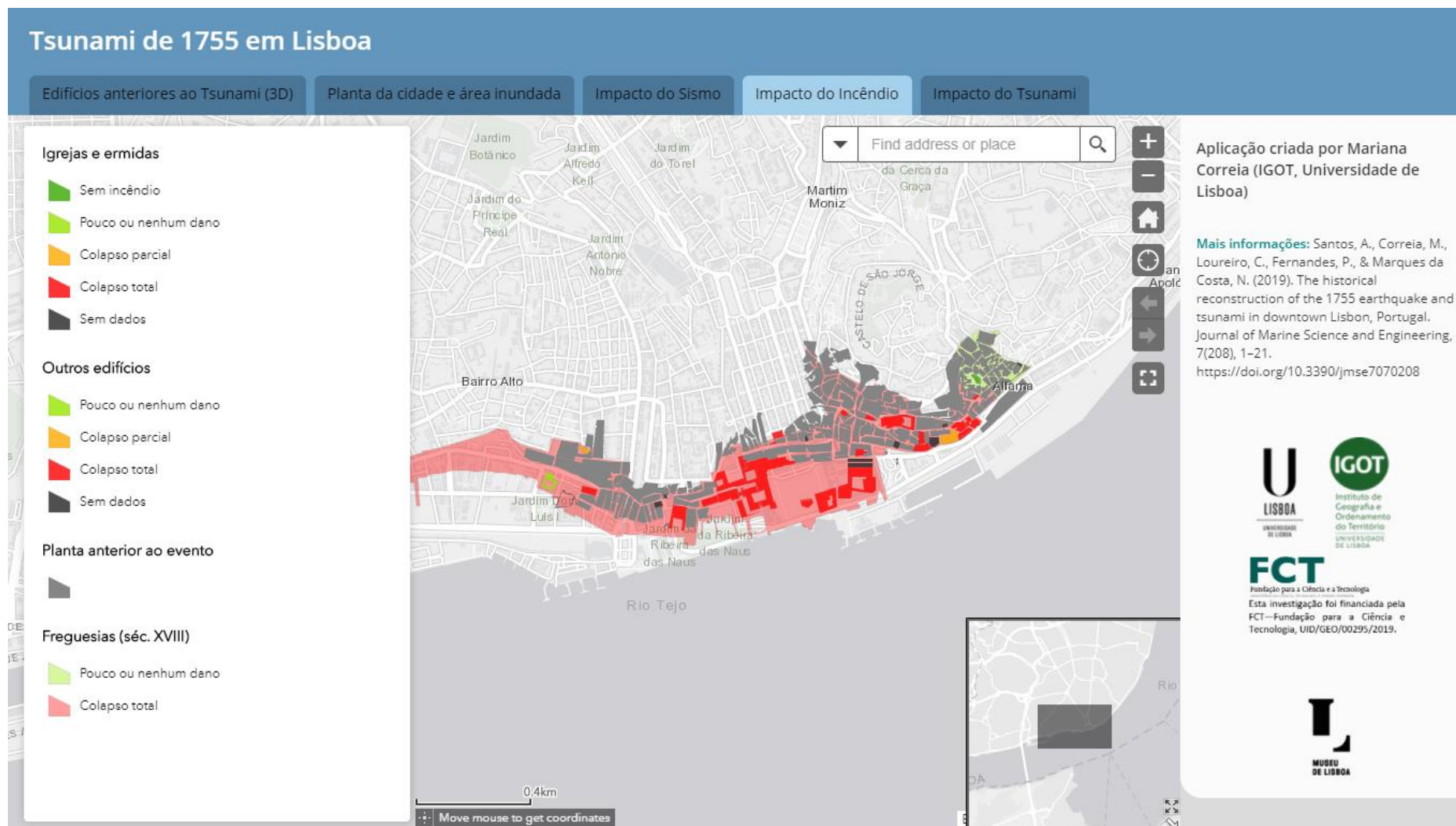


Figura 62: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do incêndio nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.

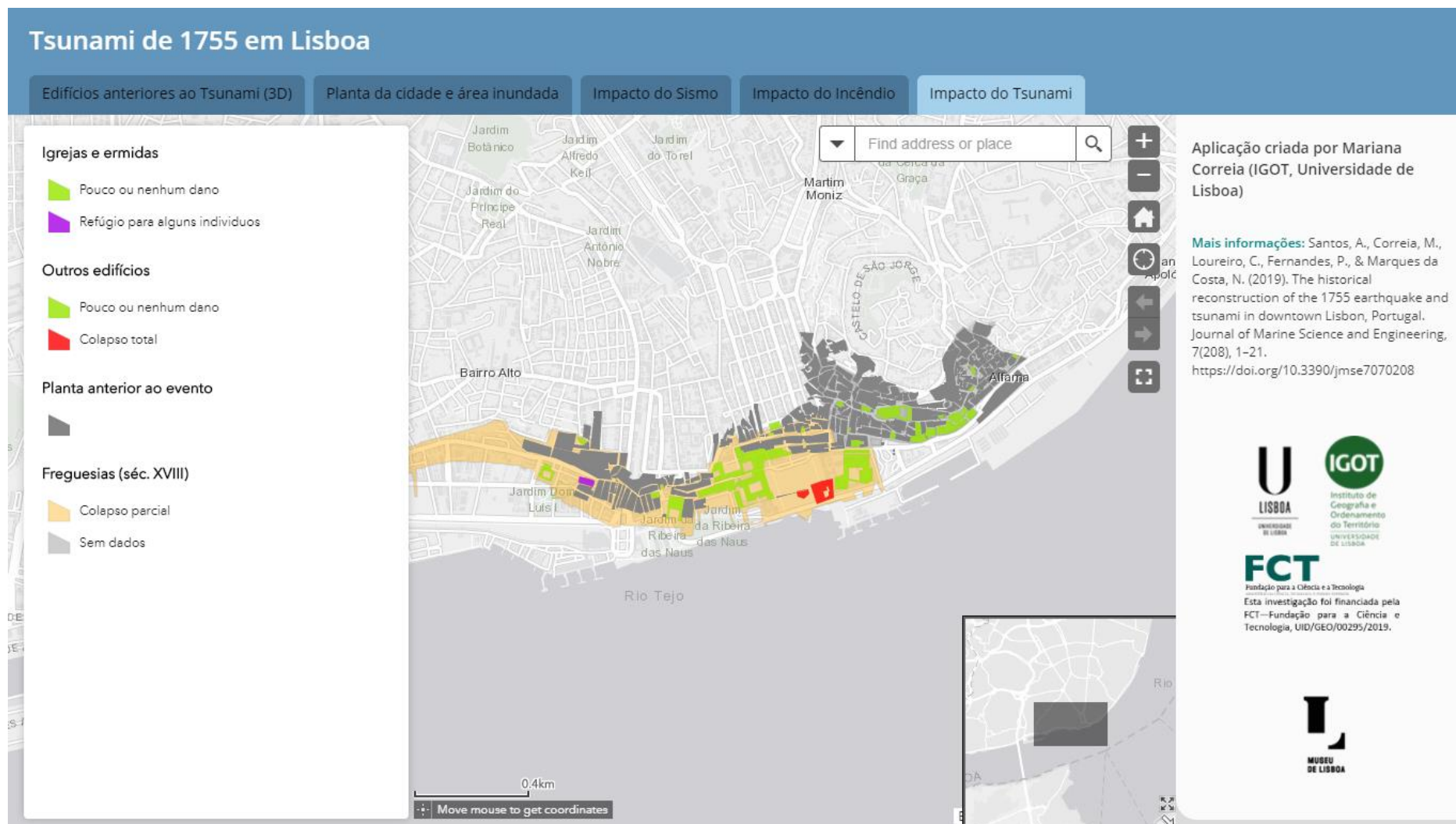


Figura 63: Terceiro separador do WebSIG: representação bidimensional do impacto do tsunami nos edifícios identificados e nas freguesias da área de estudo.

Assim, nos seus cinco separadores, o WebSIG reúne os vários resultados obtidos ao longo deste trabalho, sustentados por diversas ferramentas que permitem ao utilizador final a interação com os dados apresentados impossível através da leitura da presente dissertação. O WebSIG apresenta-se, deste modo, como um importante meio de divulgação do impacto dos três fenómenos que constituíram o evento de 1755 na zona ribeirinha da cidade de Lisboa, bem como de diversos indicadores respeitantes ao tsunami (e.g. altura da água aquando da chegada da primeira onda, profundidade da inundação) a nível local.

5. Conclusões

Após a georreferenciação e vetorização da cartografia histórica foi possível verificar que a linha de costa da cidade de Lisboa apresentou grandes alterações desde a ocorrência do evento até à atualidade, tendo avançado sobre o rio através da extensão dos antigos aterros e da construção de novas marinas. A utilização de diversas fontes na identificação e vetorização da linha de costa contemporânea ao evento levou a que se concluísse a existência de alguma discrepância na geometria da mesma, possivelmente derivada da diferença temporal das fontes ou, inclusivamente, do processo de georreferenciação.

Na freguesia histórica de S. Paulo, no extremo Oeste da área de estudo, foi possível verificar a maior disparidade entre a linha de costa histórica e a linha de costa atual. Nesta freguesia, a linha de costa terá avançado na direção do rio até cerca de 300 metros durante o período referido. Esta diferença tende a diminuir para este. Como única exceção, o Terreiro do Paço (#P1) apresentou-se relativamente à mesma distância do rio, tendo visto ser alterada somente a sua configuração. Esta realidade leva a que esta praça apresente hoje semelhante vulnerabilidade a tsunamis que a que detinha em 1755.

Resquícios da linha de costa contemporânea ao evento, em especial na Ribeira das Naus (#P2), permitiram verificar que a altimetria local não apresentou alterações significativas ao longo do tempo, permanecendo a 3 metros acima do nível do mar.

A zona ribeirinha da Lisboa apresentava uma organização administrativa muito distinta da atual, embora com semelhanças à verificada antes da alteração de 2012. A área de estudo, correspondente à zona ribeirinha central da cidade de Lisboa anterior ao evento, estaria dividida em 6 freguesias: São Paulo, São Julião, Madalena, Sé, São João da Praça e São Miguel (de oeste para este). As designações e limites das freguesias anteriormente referidos, embora respeitantes ao período 1756-1768, estão de acordo com as descrições históricas compiladas por Sousa, devendo estar próximas da organização administrativa aquando do evento.

No que diz respeito ao impacto do evento na população lisboeta, os relatos compilados apontaram para a existência de algumas contradições, perdas de registos com o evento e ausência de dados referentes a população com idade igual ou inferior a 7 anos. Por estas razões, foi difícil avaliar o impacto deste evento na população residente nas seis freguesias que constituem a área de estudo. Contudo, a compilação permitiu que fosse possível considerar as freguesias de São Paulo e de São Julião como aquelas cuja população foi mais afetada.

No que respeita ao edificado, apesar da elevada quantidade de registos e de relatos históricos referentes ao evento na cidade de Lisboa, são escassas as informações que indiquem que

fenómeno(s) (sismo, incêndio ou tsunami) justifica(m) os danos descritos. Para muitos dos edifícios identificados neste trabalho não foram encontradas referências para os danos sofridos e fenómeno(s) causante(s). Esta dificuldade sugere a necessidade de estudos subsequentes desta temática, que completem e aperfeiçoem esta compilação. Efetivamente, a informação que está em falta poderá ainda existir, uma vez que por trás de um dado que se encontre relativo a este evento tendem a surgir novas informações. Contudo a sua investigação e compilação é uma tarefa que exige tempo, não tendo sido possível, neste trabalho, um maior detalhe.

Em todo o caso, a compilação realizada levou a que se concluísse que o impacto do sismo terá sido, apesar de tudo, não muito significativo. Dos 32 edifícios identificados apenas 5 registaram colapso total (e.g. Igreja da Sé (#9)), opondo-se a 11 que terão registado poucos ou nenhuns danos provocados por este fenómeno, entre os quais a Casa da Ópera (#N), a Alfândega do Tabaco (#C), a Casa da Moeda (#O), o Palácio dos Corte Real (#M) e as igrejas da Madalena (#5) e da Patriarcal (#2). Porém, permanece desconhecido o impacto do sismo em 10 dos restantes edifícios, nomeadamente na Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D) e na Casa dos Bicos (#F). A compilação permitiu também concluir que as igrejas correspondem à tipologia da edifício mais danificada pelo sismo de entre a amostra de edifícios identificados, podendo constituir o tipo de estrutura mais vulnerável a este fenómeno. O mesmo sucede quando diferenciando entre igrejas e ermidas, destacando-se a primeira categoria como a mais danificada.

Apesar da elevada intensidade do sismo descrita e avaliada para Lisboa, o fenómeno que mais danos terá provocado no edificado da zona ribeirinha da cidade terá sido o incêndio. Os resultados apontam que o incêndio terá sido a grande causa para os danos verificados na área de estudo e a razão pela qual muitos dos edifícios tiveram de ser reedificados embora não tenham sido destruídos pelo sismo. No caso do incêndio as estruturas reais, como é exemplo o Paço Real da Ribeira (#A), a Alfândega do Tabaco (#C), a Alfândega e Tribunal das Sete Casas (#D) e a Casa da Ópera (#N), constituem a tipologia de edifício mais afetada, seguida das igrejas. De entre as freguesias históricas que organizam a área de estudo, somente a freguesia de S. Miguel, no extremo este, terá apresentado poucos ou nenhuns danos provocados pelo incêndio.

Apesar de não se conhecer o impacto do incêndio em 9 edifícios (e.g. Forte de S. Paulo (#L) e Casa dos Bicos (#F)) dos 32 edifícios identificados, 19 terão ficado destruídos na sua totalidade devido ao incêndio. De entre estes 19 edifícios destacam-se as estruturas reais acima enumeradas e a Igreja de S. Paulo (#1), na qual cerca de 30 pessoas terão padecido devido a este fenómeno por aí se refugiarem do tsunami.

Este último fenómeno, por sua vez, não terá causado danos significativos no edificado da zona ribeirinha de Lisboa. De entre os 32 edifícios identificados na área de estudo, apenas o Forte da

Vedoria (#B) e a Alfândega do Tabaco (#C) terão colapsado na totalidade devido ao tsunami, tendo os restantes apresentado poucos ou nenhuns danos derivados deste fenómeno. O modelo tridimensional da área de estudo antes do sismo elaborado com recurso ao software Pix4D facilitou a interpretação e visualização da extensão horizontal do tsunami e os locais que apresentaram, consequentemente, mais danos. Este modelo, apesar de apresentar somente boa qualidade quando visualizado de oeste, de este e a partir do rio, forneceu também indicações relativas à altura dos terreiros e dos edifícios anteriores ao evento, informação de base para a modelação numérica do tsunami. Os melhores resultados foram obtidos junto do Terreiro do Paço (#P1), onde a sobreposição de pontos detetados nas diversas fotografias é superior devido à introdução no modelo de um maior número de fotografias da área. Os resultados com pior qualidade foram assim obtidos junto das extremidades da área de estudo, nos claustros e em ruas estreitas devido à impossibilidade de obter imagens de vista aérea da maioria dos locais e nos locais com maior densidade de edificado e sombras. A estas dificuldades acrescenta-se alguma discrepância entre a planta da maquete e a planta da área de estudo vetorizada. Em todo o caso, às vantagens da utilização do modelo já referidas, o mesmo pode ser incluído em ambiente SIG permitindo a comparação das duas plantas e a visualização da topografia do território representado através da maquete.

Os resultados do modelo numérico do tsunami elaborado para Lisboa apontaram para a chegada da primeira onda à zona ribeirinha da cidade 60 minutos após o início do sismo, à semelhança do que relataram diversas testemunhas históricas. Vindo da foz do rio Tejo, a oeste da cidade, o tsunami começou por atingir a freguesia de S. Paulo, inundando toda a área circundante à Casa da Moeda (#O), ao Forte de S. Paulo (#L) e à Igreja de S. Paulo (#1). Cinco minutos após a chegada da primeira onda, já grande parte da zona ribeirinha da cidade teria sido inundada: o tsunami já tinha penetrado e coberto uma parte considerável do Terreiro do Paço (#P1), passando pelo Forte da Vedoria (#B) e pela Alfândega do Tabaco (#C), e chegando à fachada frontal dos Palácios do Conde de Aveiro (#G) e do Marquês de Távora (#H). Nesta altura, locais a 150 metros do rio na freguesia de S. Paulo apresentavam já uma inundação de 5 metros de altura.

O modelo numérico registou que um total de três ondas terá atingido Lisboa, à semelhança do descrito por diversas testemunhas, sendo a primeira e a última mais significativas. No fim do evento, a área que terá sido inundada pelo tsunami aproxima-se da Igreja de S. Julião (#3), localizada no limite norte da freguesia com o mesmo nome, onde a topografia e o Terreiro do Paço (#P1) permitem que a água penetre mais para o interior da cidade. No local a inunda o terá penetrado em aproximadamente 325 metros. Aquando da existência de colinas, como nas freguesias de S. Paulo, S  e S. João da Praça, nos extremos da área de estudo, a área inundada

não penetra além do terreiro próximo do rio. Segundo os resultados obtidos, o tsunami não terá penetrado a este do terreiro junto da freguesia de S. João da Praça.

A freguesia de S. Paulo terá sido também onde se terá verificado maior profundidade da inundação, apenas inferior a alguns locais próximos do rio, nomeadamente junto às docas da Ribeira das Naus (#P2) e do Forte da Vedoria (#B), onde ter-se-á verificado profundidades superiores a 2 e 3 metros, respetivamente. À semelhança da variável anterior, a altura máxima verificada terá sido superior na freguesia de S. Paulo, no oeste da área de estudo, onde se chegou a verificar uma altura de 5,6 metros, opondo-se às freguesias a este. No Terreiro do Paço (#P1) a altura máxima terá sido próxima dos 3 metros.

Em suma, os resultados obtidos com o modelo numérico foram ao encontro das descrições históricas, nomeadamente quando é referido que os edifícios mais afetados pelo tsunami correspondem aos que se encontram mais próximos do rio e / ou em áreas com menor altimetria e que apresentam menores dimensões; as freguesias mais a oeste terão sido as que sofreram maior impacto e maior inundação; a ocorrência de 3 ondas. Os resultados do modelo numérico levam a crer que o tsunami não terá tido um grande impacto ao nível do edificado e da área inundada. O novo plano para o Terreiro do Paço (#P1) ajuda a validar estes resultados, definindo o avanço desta praça em aproximadamente 80 metros na direção do rio. Assim, conclui-se que o estudo do evento de 1755 deve continuar no sentido de identificar outros edifícios bem como detalhes relativos aos danos nos mesmos.

A construção de armazéns de produtos de primeira necessidade junto ao rio imediatamente após o evento e em locais que o modelo demonstrou não terem sido afetados pelo tsunami contribui também para validação dos seus resultados. O reforço na estrutura destes novos armazéns denota, contudo, preocupação em construir uma estrutura resistente a eventos futuros semelhantes.

Os resultados desta dissertação podem ser consultados por um qualquer indivíduo *online*, em diversos tipos de dispositivos, ou presencialmente no Museu de Lisboa (Palácio Pimenta) através do WebSIG. Este foi criado para uma maior divulgação dos resultados deste trabalho, bem como para a sensibilização da preservação do conhecimento de desastres ocorridos no passado para as gerações presentes e futuras. O WebSIG permite, de uma forma inovadora, que um qualquer utilizador possa visualizar e interagir com estes dados, independentemente do local onde se encontre. A sua interação pode ser realizada com base num diversificado leque de funcionalidades, entre as quais o cálculo de direções, alterações na iluminação natural, a medição de distâncias, consultas espaciais e a elaboração de filtros.

A visualização e interpretação desta informação conseguidas em particular através desta aplicação contribuem, também, para um melhor entendimento e identificação das áreas com

maior potencial para serem afetadas por eventos semelhantes no futuro. Esta finalidade tem especial importância uma vez que a cidade de Lisboa, apesar do impacto que sofreu ao nível da população e do edificado em 1755 e em eventos posteriores, não apresenta ainda um sistema completo de alerta para tsunamis operacional nem percursos de evacuação com rotas para pontos de encontro.

6. Referências bibliográficas

- [Planta de Lisboa anterior ao Terramoto]. (1800). Retrieved from <http://purl.pt/18566>
- Alesheikh, A. A., Helali, H., & Behroz, H. A. (2002). Web GIS: Technologies and Its Applications. In *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*.
- Alves, D., & Puig, J. (2011). *IP-HGIS – Um Sistema de Informação Geográfica aplicado à História da Península Ibérica*. FCSH: IHC - Documentos de conferências nacionais.
- Associação Portuguesa de Cultura e Desenvolvimento. (2009). *Projecto de Estudo e Divulgação do Património (Igreja de S. Paulo)*.
- Baptista, E. P. da L. (2014). *Estratégias para a gamificação de um WebSIG 3D como ferramenta de seleção de roteiros turísticos*. Universidade do Algarve.
- Baptista, E., Rodrigues, J., & Figueiredo, M. (2015). CulRoute: Plataforma WebSIG3D gamificada para seleção de roteiros turísticos. *Dos Algarves: A Multidisciplinary e-Journal*, 26(2), 5–22. <https://doi.org/10.18089/DAMeJ.2015.26.2.1>
- Barbosa, M. C. F. (2014). *A importância dos recursos endógenos como potenciadores do turismo em municípios do interior norte de Portugal - Estudo de caso dos municípios de Lousada e de Fafe*. Universidade do Minho.
- Barros, A. A. S. de. (2016). O Palácio do Marquês de Angeja e o colapso do painel frontal do chafariz d'el-rei. *Cadernos Do Arquivo Municipal*, 2(5), 235–263.
- Barros, J. L., Tavares, A. O., Santos, A., & Fonte, A. (2015). Territorial vulnerability assessment supporting risk managing coastal areas due to tsunami impact. *Water*, 7, 4971–4998. <https://doi.org/10.3390/w7094971>
- Bettencourt, J., Fonseca, C., Silva, J. T. P. D., Carvalho, P. C. S. D., Coelho, I. P., & Lopes, G. C. (2017). Navios de época Moderna em Lisboa: balanço e perspectivas de investigação. In A. Caessa, C. Nozes, I. Cameira, & R. Banha da Silva (Eds.), *Encontro de Arqueologia de Lisboa: Uma Cidade em Escavação* (pp. 479–495). Lisboa: Centro de Arqueologia de Lisboa / Departamento de Património Cultural / Direção Municipal de Cultura / Câmara Municipal de Lisboa. Retrieved from <https://novaresearch.unl.pt/en/publications/navios-de-epoca-moderna-em-lisboa-balanço-e-perspectivas-de-inves-2>
- Blot, M. L. P., & Henriques, R. (2004). Arqueologia Urbana e Arqueologia do Meio Aquático. A problemática portuária como “ponte” entre dois territórios de investigação. In *História, Teoria e Método da Arqueologia. IV Congresso de Arqueologia Peninsular. Faro: Universidade do Algarve. Promontória Monográfica* (Vol. 14, pp. 127–140).
- Coelho, A. G. (2005). Do “Inquérito do Marquês de Pombal” ao estudo de Pereira de Sousa sobre o Terramoto de 1 de Novembro de 1755. In Público (Ed.), *O Grande Terramoto de Lisboa - Volume 1*

- Descrições* (pp. 143–187). Lisboa: FLAD.
- Costa, M. L. (2015). *Os SIG e a Cartografia Histórica Urbana*. Universidade do Porto.
- da Cunha, L. (1922). Copia do Desenho Parte Mais Nobre do Palacio do Rey de Portugal, segunda metade do século XVIII (Tinta da China e Aguada). Lisboa: Museu de Lisboa, EGEAC.
- del Priore, M. (2003). *O Mal sobre a Terra: Uma história do terremoto de Lisboa*. TOPBOOKS.
- Dias, M. H. (2001). Cartas, Plantas, Esboços e Projectos: Cartografia Militar Portuguesa dos Séculos XVIII-XIX. Instituto Geográfico do Exército.
- Dias, M. H. (2003a). A imagem do espaço nacional e o papel da Cartografia militar portuguesa. In *Contributos para a História da Cartografia Militar Portuguesa*.
- Dias, M. H. (2003b). Disponibilizar, utilizar e valorizar a informação cartográfica histórica. O Projecto SIDCarta. In *Contributos para a História da Cartografia Militar Portuguesa*.
- Dias, M. H. (2003c). Os primórdios da moderna Cartografia militar em Portugal: uma história ainda por contar. In *Contributos para a História da Cartografia Militar Portuguesa*.
- Dias, M. H. (2010). *Cursos e Percursos para o Mar Oceano...* (1ª). Instituto Geográfico do Exército.
- Dias, M. H., & Botelho, H. F. (1998). *Quatro Séculos de Imagens da Cartografia Portuguesa* (2ª). Instituto Geográfico do Exército.
- Dragičević, S. (2004). The potential of Web-based GIS. *Journal of Geographical Systems*, (6), 79–81. <https://doi.org/10.1007/s10109-004-0133-4>
- Dragičević, S., & Balram, S. (2004). A Web GIS collaborative framework to structure and manage distributed planning processes. *Journal of Geographical Systems*, 6, 133–153. <https://doi.org/10.1007/s10109-004-0130-7>
- Fernandes, D., Alonso, J., Julião, R. P., Lourenço, J. M., & Ramos, R. A. R. (2014). O uso de SIG no património cultural: O caso do Alto Douro Vinhateiro. *Engenharia Civil*, 48, 7–21.
- Ferreira, S. I. da C. (2015). *O sítio do forte de São Paulo: estudo arqueológico da Ribeira Ocidental de Lisboa na época moderna*. Dissertação de Mestrado em Arqueologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Freitas, J. V. (1850). Planta de Lisboa anterior ao Terramoto. Retrieved from <http://purl.pt/20086>
- Gago da Câmara, A., Murteira, H., & Rodrigues, P. (2012). City & Spectacle: a vision of pre-earthquake Lisbon. In *Virtual Palaces, Part II. Lost Palaces and their Afterlife. Virtual Reconstruction between Science and Media*. Munich.
- Gonçalves, C. I. B. (2012). *SIG em Código Aberto e Património Urbano*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Gouveia, J., Branco, F., Rodrigues, A., & Correia, N. (2015). Travelling through space and time in Lisbon's religious buildings. 2015 *Digital Heritage*, 407–408. <https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7413916>

- Grandin, R., Borges, J. F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B., & Carrilho, F. (2007). Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 ($M_s = 8.0$) and the 1755 November 1 ($M \sim 8.5$) earthquakes - II. Strong ground motion simulations. *Geophysical Journal International*, 171, 807–822. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2007.03571.x>
- Gregory, I. N., & Ell, P. S. (2007). *Historical GIS: Technologies, Methodologies and Scholarship*. Cambridge University Press.
- Gregory, I. N., & Healey, R. G. (2007). Historical GIS: structuring, mapping and analysing geographies of the past. *Progress in Human Geography*, 31(5), 638–653. <https://doi.org/10.1177/0309132507081495>
- Gregory, I. N., Kemp, K. K., & Mostern, R. (2001). Geographical Information and Historical Research: Current Progress and Future Directions. *History and Computing*, 13(1), 7–23. <https://doi.org/10.3366/hac.2001.13.1.7>
- Gutscher, M.-A., Baptista, M. A., & Miranda, J. M. (2006). The Gibraltar Arc seismogenic zone (part 2): Constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modeling and seismic intensity. *Tectonophysics*, 426, 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.02.024>
- IOC. (2019). Tsunami glossary. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO): Technical Series, 85.
- Kaim, D., Kozak, J., Kolečka, N., Ziółkowska, E., Ostafin, K., Ostapowicz, K., ... Radeloff, V. C. (2016). Broad scale forest cover reconstruction from historical topographic maps. *Applied Geography*, 67, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.12.003>
- Kraak, M. J. (2004). The role of the map in a Web-GIS environment. *Journal of Geographical Systems*, 6, 83–93. <https://doi.org/10.1007/s10109-004-0127-2>
- Le Bas, J. P., & Pedegache, M. T. (1757a). *Basílica de Santa Maria (Gravura Aguarelada)*. Lisboa: Museu de Lisboa, EGEAC.
- Le Bas, J. P., & Pedegache, M. T. (1757b). *Casa da Ópera (Gravura Aguarelada)*. Lisboa: Museu de Lisboa, EGEAC.
- Le Bas, J. P., & Pedegache, M. T. (1757c). *Igreja de São Paulo (Gravura Aguarelada)*. Lisboa: Museu de Lisboa, EGEAC.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2001). *Geographical Information Systems and Science*.
- MacDonald, B., & Black, F. (2000). Using GIS for Spatial and Temporal Analyses in Print Culture Studies: Some Opportunities and Challenges. *Social Science History*, 24(3), 505–536. <https://doi.org/10.1017/S0145553200010282>
- Macedo, M. L., & Sarrazola, A. (2012). Parque de Estacionamento da Praça D. Luís I.. *ERA Arqueologia S.A.* Lisboa.

- Macedo, M. L., Silva, I. M., Lopes, G. C., & Bettencourt, J. (2017). A dimensão marítima do Boqueirão do Duro (Santos, Lisboa) nos séculos XVIII e XIX: primeiros resultados arqueológicos. In J. Morais Arnaud & A. Martins (Eds.), *Arqueologia em Portugal - 2017 - Estado da Questão* (pp. 1915–1924). Lisboa: Associação dos Arqueólogos Portugueses.
- Marinha Portuguesa. (1879). Entrance of the River Tagus with the Harbour of Lisbon. Lisboa: Marinha Portuguesa.
- Marinha Portuguesa. (1893). Plano Hidrographico da Barra do Porto de Lisboa. Lisboa: Marinha Portuguesa.
- Martí-Henneberg, J. (2008). The Development of European Waterways, Road and Rail Infrastructures: A Geographical Information System for the History of European Integration (1825-2005). *Tensions of Europe*, 4, 1–26. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10459.1/59866>
- Martí-Henneberg, J. (2011). Geographical information systems and the study of history. *Journal of Interdisciplinary History*, 42(1), 1–13. https://doi.org/10.1162/JINH_a_00202
- Martínez Solares, J. M., & Arroyo, A. L. (2004). The great historical 1755 earthquake. Effects and damage in Spain. *Journal of Seismology*, 8, 275–294.
- Martínez Solares, J. M., López Arroyo, A. L., & Mezcua, J. (1979). Iseismal map of the 1755 Lisbon earthquake obtained from Spanish data. *Tectonophysics*, 53, 301–313. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90075-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90075-1)
- Memórias paroquiais. (1758). Torre do Tombo. Retrieved from <https://digitalq.arquivos.pt/details?id=4240525>
- Mineiro, A. C. (2005). A propósito das medidas de remediação e da opção política de reedificar a Cidade de Lisboa sobre os seus escombros, após o sismo de 1 de Novembro de 1755: Reflexões. In Público (Ed.), *O Grande Terramoto de Lisboa - Volume 1 Descrições* (pp. 189–218). Lisboa: FLAD.
- Monteiro de Carvalho, J. (n.d.). Livro das plantas das freguesias de Lisboa 1756-1768. Lisboa: Torre do Tombo (PT/TT/CF/153). Retrieved from <https://digitalq.arquivos.pt/details?id=3909706>
- Murteira, H., Gago da Câmara, A., Rodrigues, P. S., & Sequeira, L. (2017). Lost Cities as a Virtual Experience: The Example of Pre-Earthquake Lisbon. In J. Westin & I. M. Holmberg (Eds.), *Memories of a city* (pp. 57–88). University of Gothenburg.
- Murteira, H., & Rodrigues, P. S. (2016). Lost Cities in the Digital Era: The Case of Pre-Earthquake Lisbon. In M. Boştenaru Dan & C. Crăciun (Eds.), *Space and Time Visualisation* (pp. 151–171). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24942-1_10
- Noizet, H., & Grosso, E. (2011). The ALPAGE project: Paris and its suburban area at the intersection of history and geography (9th-19th century). In *25th International Cartographic Conference (ICC'11)* (pp. 1–10). Paris. Retrieved from <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00668400>
- Oliveira, C. S. (2005). Descrição do Terramoto de 1755, sua extensão, causas e efeitos. O sismo. O tsunami. O incêndio. In Público (Ed.), *O Grande Terramoto de Lisboa - Volume 1 Descrições* (pp. 1–10). Lisboa: FLAD.

- 23–86). Lisboa: FLAD.
- Oliveira, T. K. (2014). Descontruindo mapas, revelando espacializações: reflexões sobre o uso da cartografia em estudos sobre o Brasil colonial. *Revista Brasileira de História*, 34(68), 151–174. <https://doi.org/10.1590/S0102-01882014000200008>
- Peng, Z. R. (1999). An assessment framework for the development of Internet GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26, 117–132. <https://doi.org/10.1068/b260117>
- Pereira, J. M. C. (2017). *Plataforma integrada para análise de informação georreferenciada*. Universidade Nova de Lisboa.
- Pires, A., Romão, T., Birra, F., Marques, L., & Tenedório, J. A. (2016). *Combinando mapas de papel e smartphones na exploração do património cultural*.
- Proença, R. (1991). *Guia de Portugal - Vol. I: Lisboa e Arredores* (3rd ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Qu, C., Ye, H., & Liu, Z. (2002). Application of WebGIS in seismological study. *Acta Seismologica Sinica*, 15(1), 99–106. <https://doi.org/10.1007/s11589-002-0052-8>
- Ribeiro, I., & Policarpo, R. (2015). *Segredos de Lisboa: Vestígios arqueológicos surpreendentes sob as ruas da cidade*. Lisboa: A Esfera dos Livros.
- Ribeiro, J. P. (1949). Reprodução da Planta Topographica da Cidade de Lisboa arruinada, Tambem Segundo o novo Alinhamento dos Architétos, Eugénio dos Santos, e Carvalho, e Carlos Mardel Projeto escolhido para a reconstrução de Lisboa após o Terramoto de 1755 e datado de 12 de j. Lisboa: Museu de Lisboa, EGEAC.
- Rocha, J., & Henriques, C. (2014). A importância da análise espacial na reconstituição da oferta educativa em Portugal. *Interacções*, 28, 21–30.
- Rumsey, D., & Williams, M. (2002). Historical Maps in GIS. In *Past time, Past Place: GIS for History* (pp. 1–18). ESRI.
- Santos, A., Correia, M., Loureiro, C., Fernandes, P., & Marques da Costa, N. (2019). The historical reconstruction of the 1755 earthquake and tsunami in downtown Lisbon, Portugal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(208), 1–21. <https://doi.org/10.3390/jmse7070208>
- Santos, A., Fonseca, N., Queirós, M., Zêzere, J. L., & Bucho, J. L. (2017). Implementation of tsunami evacuation maps at setubal municipality, Portugal. *Geosciences (Switzerland)*, 7(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/geosciences7040116>
- Santos, A., & Koshimura, S. (2015a). A Criterion for Tsunami Hazard Assessment at the Local Scale. *Journal of Geodesy and Geomatics Engineering*, 2(2), 87–96. <https://doi.org/10.17265/2332-8223/2015.06.004>
- Santos, A., & Koshimura, S. (2015b). The 1755 lisbon tsunami at Vila do Bispo Municipality, Portugal. *Journal of Disaster Research*, 10(6), 1067–1080. Retrieved from <https://www.fujipress.jp/jdr/dr/dsstr001000061067/>

- Santos, A., & Koshimura, S. (2015c). The Historical Review of the 1755 Lisbon Tsunami. *Journal of Geodesy and Geomatics Engineering*, (1), 38–52. <https://doi.org/10.17265/2332-8223/2015.04.004>
- Santos, A., Koshimura, S., & Imamura, F. (2009). The 1755 Lisbon Tsunami: tsunami source determination and its validation. *Journal of Disaster Research*, 4(1), 41–52. Retrieved from <http://www.cabdirect.org/abstracts/20103315900.html;jsessionid=6473069D8891D63EED12BD0FBE660527>
- Santos, A., Zêzere, J. L., & Agostinho, R. (2011). O tsunami de 1755 e a avaliação da perigosidade em Portugal continental. In *VIII Congresso da Geografia Portuguesa, Repensar a Geografia para Novos Desafios* (pp. 1–6). Lisboa: APG.
- Santos, M. J. (2006). O Largo Vitorino Damásio (Santos-o-Velho, Lisboa): contributo para a história da zona ribeirinha de Lisboa. *Revista Portuguesa de Arqueologia*, 9(2), 369–399.
- Schindling, J., & Harris, T. M. (2018). Deepening historical GIS: An integrated database solution for linking people, place and events through unstructured text. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 12(2), 120–137. <https://doi.org/10.3366/ijhac.2018.0218>
- Silva, P. G., Elez, J., Giner-Robles, J. L., Gómez-Diego, P. V., & Rodriguez-pascua, M. A. (2017). The AD 1755 Lisbon Earthquake-Tsunami: Modelling the seismic source from the analysis of environmental and building macroseismic data. In *8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA)*.
- Sousa, F. L. P. (1928). *O Terremoto do 1.º de Novembro de 1755 em Portugal e Um Estudo Demográfico* (Vol. III). Lisboa: Serviços Geológicos Portugueses.
- Statuto, D., Cillis, G., & Picuno, P. (2017). Using historical maps within a GIS to analyze two centuries of rural landscape changes in southern Italy. *Land*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/land6030065>
- Steiniger, S., & Hunter, A. J. S. (2012). Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure. In B. E. & N. M. (Eds.), *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography* (pp. 247–261). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10595-1_15
- Tavares, A. O., Barros, J. L., & Santos, A. (2017). Multidimensional Approach for Tsunami Vulnerability Assessment: Framing the Territorial Impacts in Two Municipalities in Portugal. *Risk Analysis*, 37(4), 788–811. <https://doi.org/10.1111/risa.12678>
- Umbelino, G., Carvalho, R., & Antunes, A. (2009). Uso da Cartografia Histórica e do SIG para a reconstituição dos caminhos da Estrada Real. *Revista Brasileira de Cartografia*, 61(01), 63–70.
- Vicente, R., Ferreira, T. M., & Maio, R. (2015). Mitigação do risco sísmico de núcleos urbanos antigos : caracterização e avaliação da vulnerabilidade sísmica do Bairro Ribeirinho de Faro. *Territorium*, 22, 283–290. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_22_22
- Vieira da Silva, A. (1987a). *A Cerca Fernandina de Lisboa - Volume I* (2.ª). Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.
- Vieira da Silva, A. (1987b). *A Cerca Fernandina de Lisboa - Volume II* (2.ª). Lisboa: Câmara Municipal

de Lisboa.

Vieira da Silva, A. (1987c). *As Muralhas da Ribeira de Lisboa - Volume I* (3.^a). Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Vieira da Silva, A. (1987d). *As Muralhas da Ribeira de Lisboa - Volume II* (3.^a). Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Wescott, K. L., & Brandon, R. J. (Eds.). (2000). *Practical Applications of GIS for Archaeologists*. Taylor & Francis.

Wheatley, D., & Gillings, M. (2002). *Spatial Technology and Archaeology: The archaeological applications of GIS*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203302392>